



# Valoración del impacto al capital natural y social por el Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces

## Reporte completo

Ángela M. Mojica

Samuel Vionnet



Octubre 2017

*El estudio fue financiado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.*

#### **Acerca de Pixan'Ja**

Pixan'Ja es una compañía consultora activa en Mesoamérica y el Caribe, cuya misión es transformar la forma tradicional de hacer conservación, haciéndola relevante y facilitando su aplicación a través de herramientas y modelos innovadores como la economía ambiental y social, y nuevas herramientas de mercado. Pixan'Ja fue co-creada por Ángela Mojica y Ana Giro, quienes tienen 9 años de experiencia trabajando con organizaciones de la sociedad civil, en particular en temas relacionados a la conservación marina. Su experiencia incluye desde buceo científico y aplicación de las ciencias marinas, hasta la generación de información para políticas públicas y asesoría para informar legislaciones ambientales recientes, incluyendo diseños estratégicos, análisis y desarrollo de modelos. Su experiencia incluye efectividad de manejo de áreas protegidas, integración de economía y finanzas en estrategias de conservación, desarrollo de nuevas metodologías, creación de capacidades locales, y procesos de comunicación y generación de compromisos de actores claves, entre otros. Sus clientes incluyen MARFund, WWF, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, Conservation Strategy Fund, Instituto Privado de Cambio Climático y el Banco Mundial, entre otros.

#### **Acerca de Valuing Nature**

La misión de Valuing Nature es apoyar organizaciones para integrar el valor de la naturaleza en la toma de decisiones, proveyendo metodologías innovadoras, datos y experiencia. Valuing Nature fue creada por Samuel Vionnet en el 2015, quien es un consultor independiente con ocho años de experiencia en sostenibilidad y administración de los recursos hídricos. Anterior a fundar su organización, Samuel trabajó cinco años con Quantis International desarrollando estudios de la huella hídrica, metodologías y bases de datos. Valuing Nature trabaja principalmente con el sector privado, apoyando y asesorando a compañías multinacionales ubicadas principalmente en Europa, Norte y Suramérica en temas que incluyen métricas en sostenibilidad, administración de los recursos hídricos, evaluación de riesgos, gestión de la cadena de suministro, estrategias de sostenibilidad y contabilidad del capital natural y social. Sus clientes incluyen Nestle, Novartis, Olam, Natura, Nespresso, Samsung, Tetra Pak, Firmenich, entre otros.

#### **Colaboradores:**

La determinación del área de estudio, elaboración de mapas, acceso a información demográfica y el desarrollo del modelo hidráulico para la cuenca del río San Pedro se llevó a cabo a través de la colaboración técnica con Manuel Llano (Cartocrítica) y Marc Fasel (Geoinsight).

#### **Agradecimientos:**

Se agradece a Sandra Moguel, CEMDA; Paola Bauche y Joanna Acosta, FONNOR; Rafael Hernández Guzmán, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Heidi Orozco, NUWARI; Ernesto Bolado, SuMAR; Alessia Kachadourian, investigadora; Víctor Hugo Vázquez Morán, CONANP; y José Manuel Blanco y Correa Magallanes, Universidad Autónoma de Nayarit, por su participación en las entrevistas telefónicas y/o sus contribuciones.

#### **Cita bibliográfica sugerida:**

*Mojica, A., S. Vionnet. 2017. Valoración del impacto al capital natural y social por el Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces, México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. 68pp.*

## Índice de contenido

Lista de acrónimos .....	4
Resumen ejecutivo .....	6
1. Introducción .....	14
1.1. Contexto del estudio de caso.....	14
1.2. Objetivos .....	15
1.3. Impactos ambientales y sociales de las represas.....	15
1.4. Área de estudio .....	16
1.4.1. Cuenca del río San Pedro Mezquital.....	16
1.4.2. Humedales de la cuenca baja del río San Pedro: Reserva de Biosfera Marismas Nacionales 17	
1.4.3. Proyecto hidroeléctrico Las Cruces.....	20
2. Enfoque metodológico y fuentes de información .....	23
2.1. Introducción general al concepto de valoración de impacto.....	23
2.2. Tasa de descuento .....	28
2.3. Valor de transferencia, inflación y paridad de poder adquisitivo .....	28
2.4. Análisis de sensibilidad .....	28
2.5. Precio del carbono .....	31
2.6. Delimitación del área de estudio para el análisis de valoración .....	31
2.7. Revisión de literatura y generación de información .....	37
2.8. Cambios Sociales.....	37
2.8.1. Empleos .....	37
2.8.2. Lugares sagrados .....	39
2.8.3. Población desplazada .....	40
2.8.4. Turismo.....	40
2.9. Impacto directo del proyecto .....	41
2.9.1. Territorio cubierto por el embalse .....	41
2.9.2. Emisiones de gases de efecto invernadero por el embalse.....	42
2.9.3. Emisiones de gases de efecto invernadero derivados de la construcción del proyecto .....	42
2.10. Cambios en el régimen de inundaciones .....	42
2.10.1. Calidad de agua .....	46

2.10.2.	Biodiversidad / hábitat .....	46
2.10.3.	Almacenamiento y secuestro de carbono .....	47
2.10.4.	Pesquerías .....	47
2.10.5.	Agricultura .....	48
2.11.	Cambio en el régimen de sedimentos .....	49
2.11.1.	Calidad de agua .....	50
2.11.2.	Biodiversidad / hábitat .....	50
2.11.3.	Almacenamiento y secuestro de carbono .....	50
2.11.4.	Pesquerías .....	51
2.11.5.	Agricultura .....	51
2.11.6.	Protección contra eventos climáticos extremos .....	51
2.12.	Análisis financiero .....	53
2.12.1.	Costo del proyecto hidroeléctrico Las Cruces .....	53
2.12.2.	Valor de la electricidad y costo social neto del proyecto .....	53
3.	Resultados y discusión .....	54
3.1.	Resultados generales .....	54
3.2.	Análisis de sensibilidad .....	58
3.3.	Contextualización de los resultados obtenidos .....	59
4.	Conclusiones .....	61
5.	Literatura Citada.....	63
6.	Anexos .....	65
6.1.	Impactos ambientales causados por la construcción y creación del embalse y la operación del sistema de generación hidroeléctrica .....	65
6.2.	Resultados con la tasa de descuento incluida .....	67

## Lista de acrónimos

AIDA	Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente
ANP	Área natural protegida
ARA	Active river area
BDP	Billón de pesos
BUSD	Billón de dólares americanos
CAD	Dólares canadienses
CBD	Convention on Biological Diversity
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CH <sub>4</sub>	Metano
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional de Agua
CONANP	Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DAA	Disponibilidad a aceptar
DAP	Disponibilidad a pagar
EPA	Environmental Protection Agency
ETC	Equivalente tiempo completo
FONNOR	Fondo Noroeste
GEI	Gases de efecto invernadero
GWh	Gigavatio hora
ha	Hectárea
hm <sup>3</sup>	Hectómetro cúbico
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center River Analysis System
INE	Instituto Nacional Electoral
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IRENA	International Renewable Energy Agency
IISD	International Institute for Sustainable Development
KWh	Kilovatio hora
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
MDP	Millón de pesos
MEA	Millennium Ecosystem Assessment

MIA	Manifestación de Impacto Ambiental
MUSD	Millón de dólares americanos
MXN	Pesos mexicanos
MWh	Megavatio hora
NCP	Natural Capital Protocol
ONG	Organización no gubernamental
PPA	Paridad de poder adquisitivo
PH	Proyecto hidroeléctrico
POIS	Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico
PwC	Price Waterhouse and Cooper
RBMN	Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales
SCP	Social Capital Protocol
SE	Servicios ecosistémicos
SEGOB	Secretaría de Gobierno
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales
SENER	Secretaría de energía
t	Tonelada
TNC	The Nature Conservancy
USD	Dólares americanos
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WWF	World Wildlife Foundation
-eq	Equivalente

## Resumen ejecutivo

### Contexto

El proyecto hidroeléctrico Las Cruces (240 MW de poder instalado y con un costo de construcción presupuestado en 10.49 billones de pesos mexicanos, es decir 639 millones de dólares -MUSD) es un proyecto de la Comisión Federal de electricidad (CFE) de México, a través del cual se propone suplir la creciente demanda regional de electricidad, mientras se apoya el compromiso del país en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), congruente con los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París.

El proyecto se ubica sobre el río San Pedro Mezquital, en el estado de Nayarit, en la costa oeste de México. En la parte baja de la cuenca y posterior al sitio propuesto para la construcción de la presa se encuentra Marismas Nacionales, una de las áreas naturales protegidas más importantes, la cual alberga la reserva de manglares más extensa de México (200'000 ha). Su existencia y biodiversidad depende de los regímenes de inundación y sedimentos que provee el río San Pedro. Los humedales y manglares proveen una amplia gama de servicios ecosistémicos a las comunidades (p. ej., áreas de crianza para especies con importancia ecológica y comercial, filtración y regulación del agua, protección contra procesos de erosión costera y eventos climáticos extremos, entre otros), además de poseen una de las más altas capacidades en el secuestro y almacenamiento de carbono. El valor de los servicios ecosistémicos generado por los humedales y manglares tiene en promedio un valor de 412'250 MXN/ha, y puede llegar a 1.6 millones de pesos mexicanos (MDP) por hectárea en casos específicos.

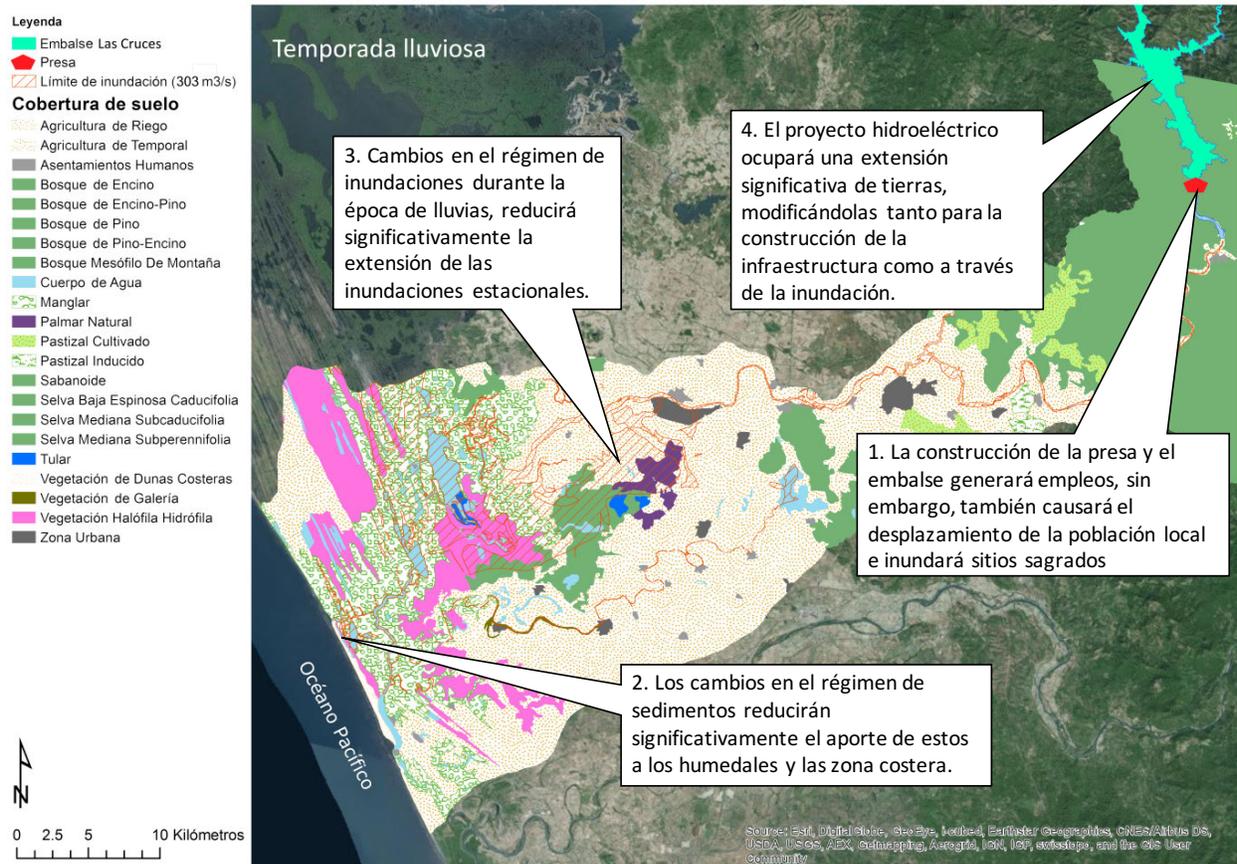
El proyecto hidroeléctrico Las cruces ha sido controversial desde su propuesta y aprobación inicial en 2014 (permisos ambientales, de construcción y por uso de agua para su operación), debido a los posibles impactos que la construcción impondría sobre diferentes actores claves, incluyendo el desplazamiento de población local, la inundación de sitios sagrados para las comunidades indígenas, y cambios en el régimen de inundación y sedimentos, los cuales contribuyen a las pesquerías locales y las actividades agrícolas. Sin embargo, el proyecto también podría aportar al desarrollo de la economía local a través de la generación de empleos, particularmente durante el proceso de construcción de la presa. Las noticias más recientes (julio 2017) indican que el proyecto se encuentra pausado por el fallo de un juez a favor del amparo impuesto por las comunidades Náyeri and Wixárika y en contra de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la CFE por emitir permisos de construcción del proyecto Las Cruces, los cuales atentan contra los derechos humanos de las comunidades indígenas de Nayarit.

### Objetivos y metodología del estudio

En este contexto, el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN) ha comisionado el desarrollo de este estudio para evaluar los aportes que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces generaría a la sociedad mexicana, y si estos son mayores a los impactos negativos, a través de un análisis costo-beneficio. Es de amplio conocimiento que las grandes obras de infraestructura, particularmente las mega-presas, constituyen sistemas complejos generando tanto beneficios como costos a la sociedad. Evaluar y medir estos impactos es clave para apoyar la toma de decisiones de las autoridades, e informar a los actores claves y la sociedad civil.

Este estudio se basa en los protocolos para el capital natural y social (NCP, 2016; SCP, 2017). El marco de evaluación se basó en la identificación de las vías de impacto, empleando las metodologías más innovadoras para la valoración de impacto. Se identificaron cuatro causas de impacto que el proyecto

hidroeléctrico Las Cruces generaría: 1) impacto directo del proyecto (embalse, presa, etc.), 2) cambios sociales (empleos, población desplazada, etc.), y cambios en los regímenes de 3) inundación y 4) sedimentos del río San Pedro. La siguiente figura ilustra la sección de la Cuenca afectada por la construcción del proyecto, desde la ubicación del embalse y la presa hasta el océano Pacífico; se incluye la cobertura de suelo.



En el análisis, estas cuatro causas de cambio se desarrollaron en detalle identificando los impactos ilustrados en la siguiente figura. Los cambios más significativos incluyen:

- La generación de 5'000 empleos directos y potencialmente de otros 5'000 trabajos indirectos durante la construcción del proyecto.
- La inundación de 14 sitios sagrados para las comunidades indígenas
- El desplazamiento de 66 personas del área donde el embalse sería construido
- La modificación de 5'493 ha de ecosistemas terrestres para construir el embalse, dos presas y la infraestructura requerida por el proyecto
- La reducción promedio del flujo de agua del río durante la temporada de lluvias, causando una reducción en la inundación de 916 ha de tierras agrícolas, las cuales dependen de los sedimentos acarreados por el río para su fertilización, y de 2'257 ha de humedales y manglares que desaparecerían en beneficio de otros ecosistemas terrestres.

- La reducción en el transporte de sedimentos hasta la línea de costa, causando una pérdida promedio anual de 23 ha de tierra perdidas al mar, con un aumento del riesgo de impacto por eventos climáticos extremos.

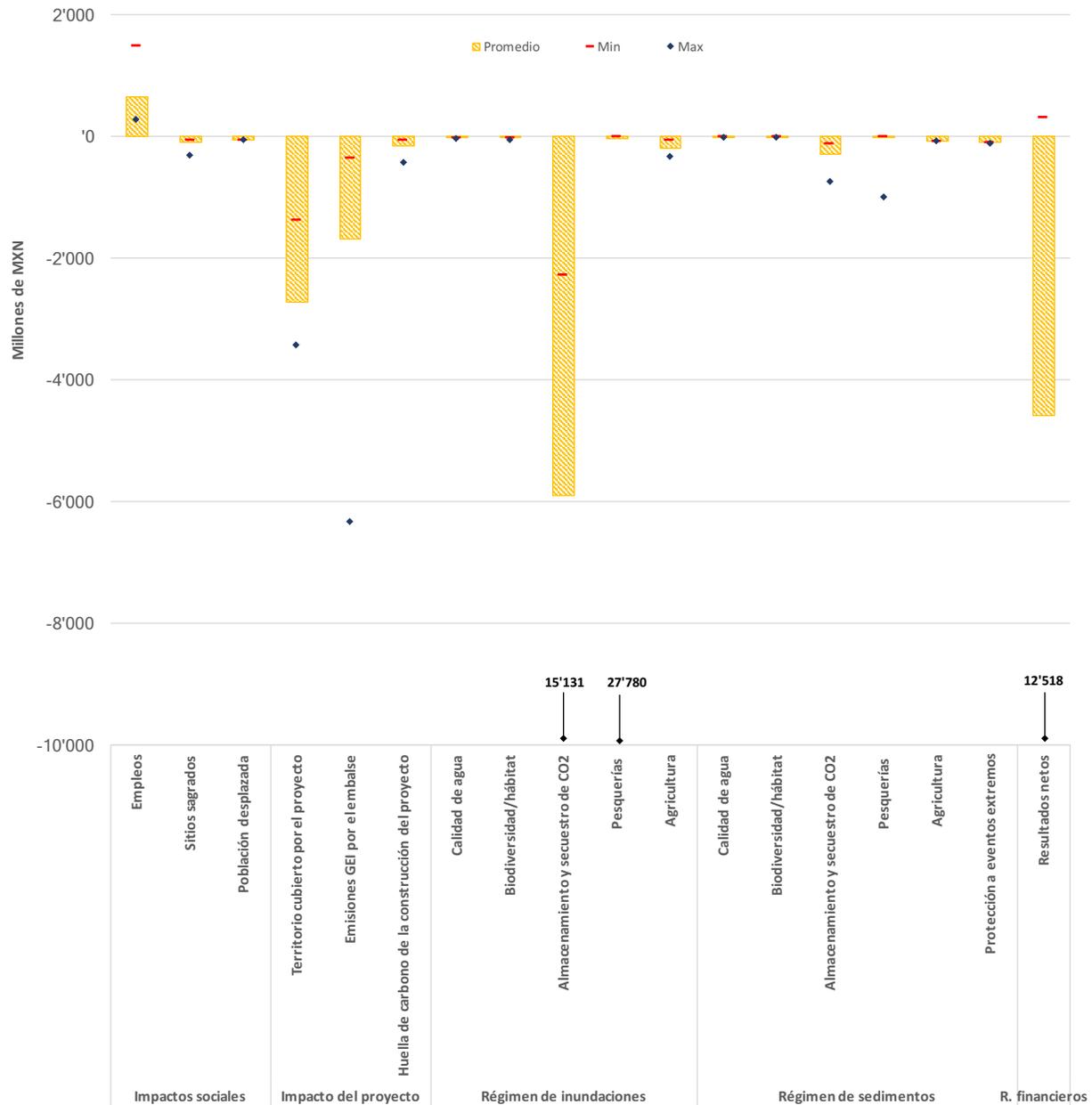
Productos	Cambios Sociales	Impactos directos del proyecto	Régimen de inundaciones	Régimen de sedimentos
<b>Resultados</b>	Población desplazada Sitios sagrados Empleos <i>Turismo</i>	Territorio cubierto por el embalse Emisiones de GEI por el embalse Huella de carbono – construcción del proyecto	Calidad de agua Biodiversidad/hábitat Almacenamiento y secuestro de CO <sub>2</sub> Pesquerías Agricultura	Calidad de agua Biodiversidad /hábitat Almacenamiento y secuestro de CO <sub>2</sub> Pesquerías Agricultura Protección contra eventos extremos

### Resultados

Los resultados se desarrollaron empleando estimados promedios para los diferentes parámetros, basándose en los mejores datos disponibles. Se utilizó un horizonte de tiempo de 25 años para evaluar los impactos del proyecto y no se empleó una tasa de descuento; sin embargo, los resultados con tasa de descuento se incluyeron en los anexos del reporte. Estimados altos y bajos de los parámetros claves usados en el modelo se probaron en el análisis de sensibilidad y se reportan de forma transparente en el siguiente cuadro. Los resultados indicaron que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces representaría una pérdida neta de 15.3 BDP (931 MUSD) para la sociedad mexicana. La siguiente figura contienen resultados detallados para cada una de las cuatro vías de impacto evaluadas en el análisis.

		Estimados promedio	Estimados mínimos	Estimados máximos	Estimados mínimos (cambio relativo del valor promedio)	Estimados máximos (cambio relativo del valor promedio)
		Millones de MXN	Millones de MXN	Millones de MXN	%	%
Impactos sociales	Empleos	658.2	1,490.7	282.2	226%	43%
	Sitios sagrados	(98.5)	(61.6)	(307.8)	63%	313%
	Población desplazada	(46.6)	(46.5)	(47.5)	100%	102%
Impacto del proyecto	Territorio cubierto por el proyecto	(2,719.7)	(1,370.1)	(3,425.3)	50%	126%
	Emisiones GEI por el embalse	(1,686.8)	(350.7)	(6,312.1)	21%	374%
	Huella de carbono de la construcción del proyecto	(160.3)	(61.6)	(411.0)	38%	256%
Régimen de inundaciones	Calidad de agua	(25.2)	(20.0)	(30.4)	79%	121%
	Biodiversidad/hábitat	(24.8)	(11.1)	(38.5)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(5,901.3)	(2,269.7)	(15,131.5)	38%	256%
	Pesquerías	(40.0)	-	(27,780.3)	-	69444%
	Agricultura	(193.0)	(64.3)	(321.7)	33%	167%
Régimen de sedimentos	Calidad de agua	(1.0)	(0.8)	(1.2)	81%	119%
	Biodiversidad/hábitat	(0.9)	(0.4)	(1.4)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(285.2)	(109.7)	(731.3)	38%	256%
	Pesquerías	(1.4)	-	(984.1)	-	69444%
	Agricultura	(66.5)	(66.5)	(66.5)	100%	100%
	Protección a eventos extremos	(95.9)	(95.9)	(95.9)	100%	100%
Resultados financieros	Resultados netos	(4,584.2)	325.4	(12,518.5)	-7%	273%

**Valor neto en millones de MXN (15,273.0)**



Los impactos negativos más significativos se originan de:

- **Territorio cubierto por el embalse** y pérdida de SE asociada a estos ecosistemas: 2.7 billones de pesos mexicanos (166 MUSD)
- **Emissiones de efecto de gas invernadero por el embalse** durante su operación. Se ha reportado recientemente que este impacto ha sido sistemáticamente subestimado, en particular en regiones tropicales: 1.7 billones de pesos mexicanos (103 MUSD)

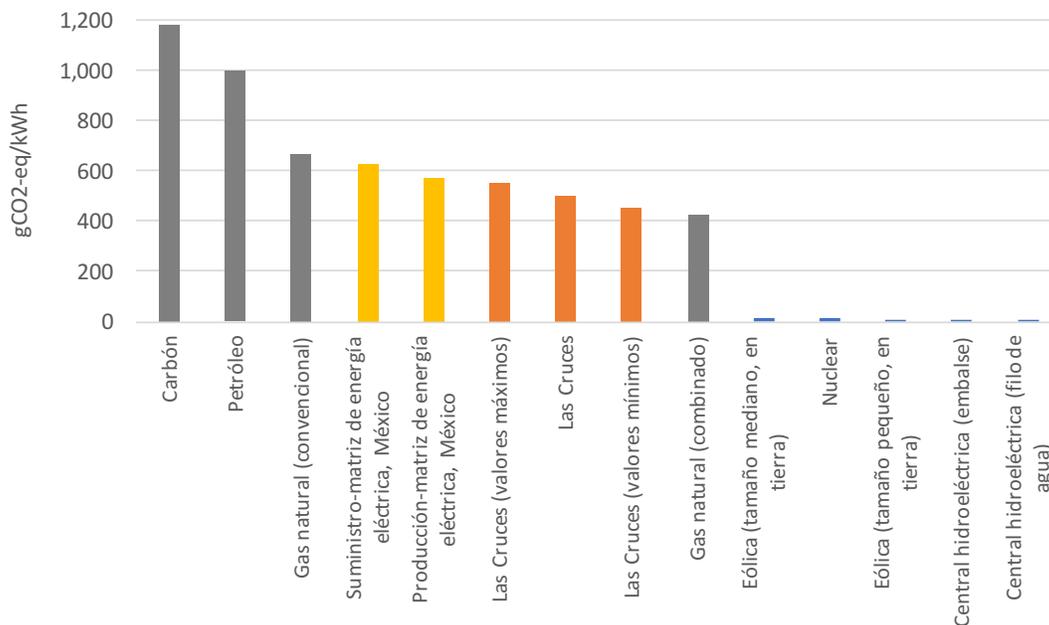
- **Pérdidas en la extensión de humedales y manglares** a causa de la reducción del régimen de inundaciones, y las pérdidas en el secuestro y almacenamiento de carbono asociadas: 5.9 billones de pesos mexicanos (360 MUSD)
- **Pérdidas financieras** como resultado del desequilibrio entre los costos del proyecto y los ingresos generados por la venta de electricidad: 4.6 billones de pesos mexicanos (279 MUSD)

La variabilidad de algunos de los parámetros clave es alta, ya que es complejo anticipar el futuro en cada caso. Por ejemplo, la rentabilidad financiera del proyecto recae en el precio del mercado que la electricidad tenga en el futuro, así como el control que se tenga en los costos de construcción. Se ha reportado que los proyectos hidroeléctricos a nivel global, presentan sobrecostos de construcción de un 70% promedio. Adicionalmente, el mercado eléctrico en México fue recientemente liberalizado, generando una reducción en los precios de venta de la electricidad de los servicios públicos; en el último año los precios de venta bajaron en un 40% aproximadamente. La rentabilidad del proyecto necesitaría un precio de venta de aproximadamente 903 MXN/MWh, mientras que los contratos más recientes fueron negociados a 542 MXN/MWh.

Otros parámetros como el costo social del carbono (CSC) varían ampliamente, desde un par de cientos de MXN/tCO<sub>2</sub>-eq hasta más de 3'298 MXN/tCO<sub>2</sub>-eq, por esto la selección del CSC puede influenciar los resultados significativamente. Por último, algunos parámetros como las emisiones de GEI por el embalse, así como el valor de las pesquerías por hectárea de manglar/humedal, son altamente variables dependiendo del método utilizado para su valoración.

### Contextualización de los resultados

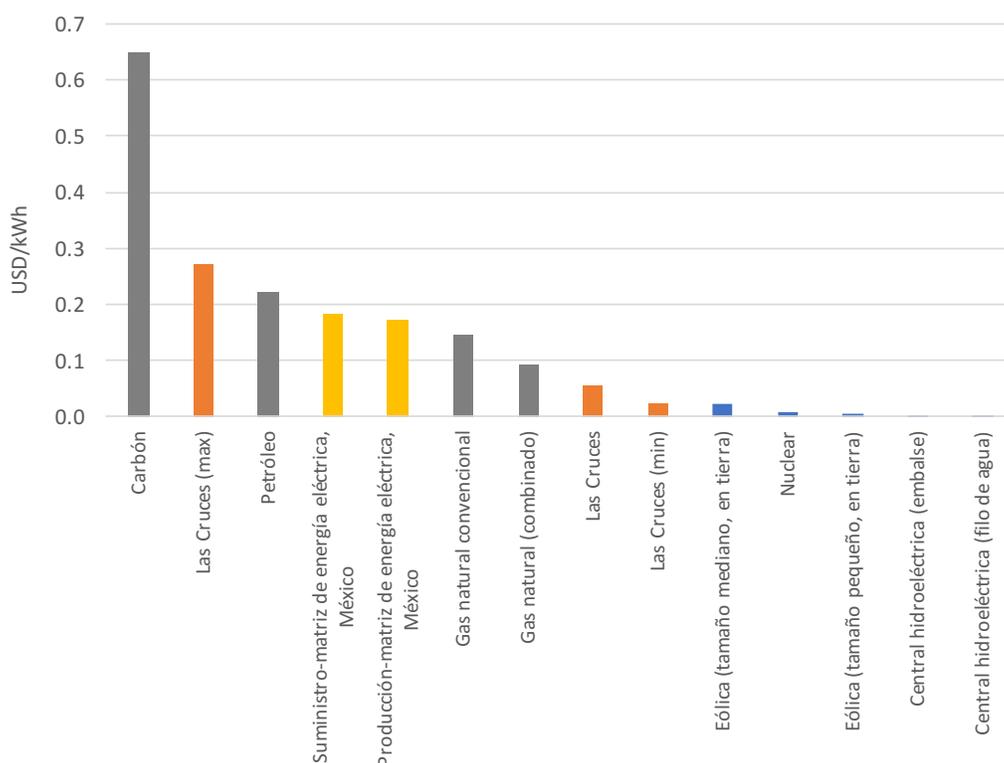
Los resultados obtenidos para el proyecto hidroeléctrico Las Cruces se contextualizaron comparándolos con otras fuentes para generar electricidad en México, enfocándose en un primer paso en la emisión de GEI. La figura siguiente ilustra los resultados del proyecto Las cruces con valores promedio, altos y bajos (en color naranja), comparados con otras fuentes de electricidad incluyendo la matriz eléctrica del país (oferta y producción).



Se observó que el proyecto Las Cruces genera emisiones de GEI por KWh significativas, las cuales están en el rango de la matriz eléctrica nacional y por encima de aquellas generadas por las plantas termoeléctricas de gas natural más eficientes. A través de la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico Las Cruces, se esperaba reducir las emisiones nacionales en 304'807 tCO<sub>2</sub>-eq anualmente, pero de acuerdo a los cálculos realizados en este estudio, un estimado más preciso se acerca a las 51'657 tCO<sub>2</sub>-eq es decir un 17% de las reducciones anticipadas.

También se contextualizaron los costos totales sobre el capital natural generado por el proyecto Las Cruces en relación a las fuentes de electricidad ilustradas anteriormente. Los costos se expresan en USD por costos por KWh, y excluyen los resultados financieros y los empleos generados, ya que estos datos no están disponibles para las demás fuentes comparadas en el análisis.

Esta comparación muestra que el proyecto Las Cruces, a pesar de tener la etiqueta de “energía renovable”, es más cercano a fuentes de electricidad no renovables. Los resultados para Las Cruces usando estimados altos, posicionan el proyecto tan impactante como plantas de electricidad de petróleo, y significativamente por encima de la matriz eléctrica de México.



## Conclusiones

Los resultados presentados aquí están basados en la mejor información publicada al momento, y debieran considerarse como impactos potenciales del proyecto, más que impactos reales. Los valores reportados utilizan estimaciones promedio, y pueden cambiar dependiendo de las condiciones socioeconómicas y el contexto local como se describe en el reporte.

El análisis mostró que los costos negativos para la sociedad sobrepasan los beneficios que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces genera, y a pesar de las incertidumbres indicadas en el análisis de sensibilidad,

las conclusiones no varían. Los resultados enfatizaron y cuantificaron los impactos que no han sido capturados por el gobierno mexicano, la CFE u otros actores claves. Estos incluyen de forma particular las emisiones de GEI por el embalse, la pérdida de humedales y manglares a causa de los cambios del régimen de inundaciones y la superficie de ecosistemas terrestres perdidos por la construcción del proyecto (desde la inundación del embalse principalmente, pero también por la erosión costera en un menor grado).

La contextualización de los resultados empleando otras fuentes de electricidad como puntos de referencia y analizando las emisiones de GEI, así como los impactos totales sobre el capital natural, resaltaron que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces no corresponde a proyectos bajo la categoría de energía renovable. La contribución del proyecto Las Cruces para reducir emisiones de GEI a nivel nacional tampoco es lo esperado por el gobierno mexicano, lo que no apoya el compromiso adquirido en el Acuerdo de París. En este sentido, es relevante cuestionar la decisión de construir el proyecto aun generando externalidades negativas para la sociedad mexicana. Inclusive los resultados financieros indicaron pérdidas netas, las cuales tendrán que ser cubiertas a través de subsidios por el gobierno mexicano.

Se espera que estos resultados y el marco de evaluación del estudio puedan ser utilizado por tomadores de decisiones y actores claves, apoyando la discusión acerca de este proyecto, así como otras grandes obras de infraestructura. El enfoque de esta investigación provee una visión holística de todos los impactos, traduciéndolos a una misma métrica, facilitando su priorización y una mejor toma de decisiones.

# 1. Introducción

## 1.1. Contexto del estudio de caso

La construcción de represas hidroeléctricas es un debate con dimensiones globales cuando se habla de desarrollo sostenible y cuando se incluyen de manera integral, aspectos relacionados al costo real de las obras y la distribución de las externalidades generadas. Algunos de los beneficios socioeconómicos generados por las represas comprenden provisión de agua para irrigación de cultivos, generación de electricidad, control de inundaciones, abastecimiento de agua, y suelen atraer la expansión de infraestructura social (camino, colegios, etc.), entre otros. Sin embargo, también hay consecuencias negativas derivadas de este tipo de proyectos como el desplazamiento y empobrecimiento de la población, transformación del paisaje, modificación de ecosistemas naturales (ecosistemas terrestres, acuáticos, costeros y marinos) y afectaciones a la biodiversidad presente, pérdidas de servicios ecosistémicos (SE), sobrecostos de construcción y deudas de proporciones significativas, al igual que una distribución desigual de las externalidades generadas (costos y beneficios). Uno de los temas más polémicos se enfoca en el retorno de la inversión y cuestiona fuertemente si este tipo de infraestructuras son en realidad la mejor opción para invertir fondos y recursos públicos (*World Commission on Dams*, 2000). De aquí el que la construcción de proyectos hidroeléctricos sea hoy en día un tema controversial de discusión internacional, y México no es la excepción.

La represa hidroeléctrica Las Cruces es un proyecto de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México en el Río Pedro Mezquital, ubicado en el estado de Nayarit. El San Pedro es el séptimo río más caudaloso del país y el único libre de represas a través de la cadena montañosa Sierra Madre Occidental; en la planicie costera el río alimenta el área natural protegida (ANP) federal Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN), la cual alberga la extensión de manglares más extensa de la costa Pacífica Mexicana (200'000 ha). La construcción de la represa ha generado amplias controversias de diferentes sectores de la sociedad mexicana desde su propuesta en 2014, debido al carácter sagrado del río para las comunidades indígenas Náyeri y Waxárika que habitan la cuenca, y la inminente inundación de sitios ceremoniales, así como el desplazamiento de algunos habitantes. El río San Pedro alimenta el sistema de humedales de Marismas Nacionales en la parte baja de su cuenca, y los regímenes de inundaciones y transporte de sedimentos son fundamentales para la economía local.

El proyecto hidroeléctrico Las Cruces ilustra la compleja dinámica socioeconómica y ambiental asociada a este tipo de proyectos de infraestructura y desarrollo, los cuales involucran distintos sectores de la sociedad y diferentes niveles de gobierno con intereses particulares que no necesariamente convergen. Analizar los impactos de este tipo de obras a través de una evaluación integral donde se identifiquen y se evalúan los costos y beneficios de su construcción a corto, mediano y largo plazo sobre el capital social y natural es fundamental para comprender la distribución de las externalidades (positivas y negativas) del proyecto en la sociedad mexicana, y así informar la toma de decisiones. El desarrollo de proyectos similares ha mostrado que el impacto positivo y o negativo de las operaciones hidroeléctricas en los ecosistemas puede ser importante, aunque no necesariamente proporciona un desarrollo social y económico a largo plazo equivalente a los costos generados en la sociedad.

La valoración de impacto del proyecto hidroeléctrico Las Cruces sobre el capital natural y social constituye una herramienta que busca proporcionar una visión innovadora del contexto, a través de un marco de investigación de alto nivel que integre las interacciones naturaleza-y-sociedad durante el curso del proyecto. Los posibles cambios generados por la construcción de la presa en temas asociados al capital social (p. ej., población desplazada, sitios religiosos afectados, empleos) y natural (p. ej., cambios en el almacenamiento y secuestro de carbono, erosión costera, y cambios en la calidad de agua,

biodiversidad, entre otros), fueron evaluados empleando metodologías recientes, visibilizando así potenciales externalidades del proyecto.

En enero de 2017 las noticias más recientes indicaban que el proyecto se encontraba inactivo, y el pasado mes de julio un juez falló en favor de la solicitud de amparo impuesta por los pueblos Náyeri y Wixárika en contra la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la CFE, por otorgar permisos para la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces, debido a que atenta contra los derechos humanos de las comunidades indígenas de Nayarit.

## **1.2. Objetivos**

Este estudio busca generar información cuantitativa y cualitativa que evalúe los costos e impactos (positivos y negativos) a nivel económico, social y ambiental del proyecto hidroeléctrico Las Cruces en la cuenca del río San Pedro Mezquital (estado de Nayarit), a través de un análisis objetivo que integre la información y los datos públicamente disponibles acerca del proyecto, apoyando la transparencia en la toma de decisiones de las autoridades en los tres niveles y los cuerpos legislativos de México, y facilitando la participación ciudadana.

### ***Objetivos específicos:***

- Determinar a través un análisis costo-beneficio la magnitud y distribución de los costos y beneficios que el proyecto generaría entre los diferentes actores impactados, y la sociedad en su conjunto.
- Desarrollar una comparación contextualizada de las externalidades del proyecto hidroeléctrico Las Cruces con respecto a otras fuentes de producción de energía eléctrica en México.
- Realizar una valoración económica de los posibles cambios en los servicios ecosistémicos de la cuenca, como consecuencia de la construcción de la presa.

## **1.3. Impactos ambientales y sociales de las represas**

Las alteraciones antropogénicas a las cuencas del mundo a través de la construcción de represas y canales, alcanzan hoy en día proporciones significativas. Las más de 45'000 represas construidas en 140 países (30'000 se encuentran en China; World Commission on Dams, 2000) con diques mayores a los 15 m de altura tienen la capacidad de retener más de 6'500 km<sup>3</sup> de agua (Avakyan y Lakovleva, 1998), es decir un 15% del escurrimiento anual de los ríos del planeta (Gornitz, 2000). Norteamérica y Centroamérica contienen más sistemas fluviales de gran tamaño que cualquier otro continente; sin embargo, su contribución promedio en aporte de agua es menor que las cuencas africanas, asiáticas y suramericanas (Nilsson et al., 2005).

Los impactos ambientales de las represas sobre los sistemas acuáticos y ribereños han sido ampliamente descritos, los cuales afectan tanto la parte alta de la cuenca anterior al sitio de construcción del proyecto hidroeléctrico, como las secciones medias y bajas. Los impactos tienen varios órdenes: efectos de primer orden incluyen cambios físicos, químicos y geomorfológicos que resultan del bloqueo físico de un sistema acuático, alterando la distribución natural y la estacionalidad del flujo del río. Los impactos de segundo orden describen cambios en la productividad biológica primaria del río intervenido, como aquellos ecosistemas adyacentes y dependientes de las dinámicas hidrológicas del cuerpo de agua, como los humedales. En tercer orden se incluyen los impactos que afectan a la fauna acuática del río (especialmente peces), como consecuencia de los impactos mencionados anteriormente, es decir un bloqueo físico en la distribución natural y patrones migratorios de las

especies a través del río y alteraciones en la abundancia y disponibilidad de plancton (Humborg et al., 1997; Nilsson y Berggren, 2000; Jansson et al., 2000).

Los impactos ambientales de las presas se observan desde el inicio de la construcción de la infraestructura, como a mediano y largo plazo, y su severidad puede aumentar conforme pasa el tiempo y los cambios hidrogeológicos en el ecosistema intervenido se mantienen. Los efectos son variados, dependiendo de la porción del río que se analice. En el área sujeta a la inundación por la presa, los ecosistemas terrestres son eliminados y el cambio en el flujo del río, antes turbulento, afecta la biota lófica, a consecuencia de una disminución en los niveles de oxígeno disuelto. Adicionalmente, los embalses causan emisión de gases de invernadero, sedimentación y una significativa liberación de nutrientes dentro del embalse, afectando la calidad de agua (Louis et al., 2000; Chang y Wen, 1998; Rosa et al., 2004).

Posterior a la construcción del dique y especialmente en la parte baja de la cuenca, los ecosistemas dependientes de los ciclos hidrológicos del río como los humedales, se ven afectados a causa de la manipulación y cambio del flujo del río, y los cambios en los regímenes de inundación y sedimentos. Estos efectos promueven una disminución de la humedad transferida a las tierras adyacentes al río, lo que resulta en una pérdida de tierras naturalmente inundadas, y por consiguiente una reducción en la productividad de estos ecosistemas, una reducción de la calidad del agua, y cambios en la fertilidad de las planicies (World Commission on Dams, 2000); también se modifican las dinámicas de deposición de sedimentos en deltas y playas, y las comunidades acuáticas presentes en estos ambientes (Tockner y Stanford, 2002; Prowse et al., 2002; Poff et al., 1997; Lemly et al., 2000). Un efecto directo de las presas como se mencionó anteriormente (efectos de tercer orden) es la fragmentación del ecosistema fluvial por la construcción del dique, el cual evita la dispersión y migración de organismos a través del río, causando la pérdida de poblaciones y especies de peces de agua dulce (Arthington y Welcomme, 1995; Gehrke et al., 2002; Penczak y Kruk, 2000).

Los impactos sociales originados por la construcción de las presas se refieren a las consecuencias directas e indirectas que las poblaciones experimentan con el desarrollo de estos proyectos de infraestructura, en gran parte, causados por los cambios en los ecosistemas y los SE que el río solía generar anterior a su intervención. El desplazamiento y reubicación de las poblaciones humanas debido a la inundación de tierras es un impacto directo, que puede causar efectos adversos en la salud de las personas, así como cambios sustanciales en el uso de la tierra de la cuenca (Gillet y Tobias, 2002; Indrabudy et al., 1998).

Las presiones antropogénicas sobre los ríos represados son mayores que aquellos ríos libres, experimentando una mayor presión del recurso hídrico por irrigación y cerca de un 25% más de actividades económicas por unidad de agua. Considerar este tipo de información es altamente relevante para la toma de decisiones y el manejo de los recursos hídricos, especialmente teniendo en cuenta los efectos del cambio climático proyectados a nivel planetario, aunado a la disminución en la disponibilidad y la creciente demanda por agua (Nilsson et al., 2005).

## **1.4. Área de estudio**

### **1.4.1. Cuenca del río San Pedro Mezquital**

Su aporte hidrológico, su biogeografía y su estatus como el último río libre de presas en cruzar la Sierra Madre Occidental, hacen del río San Pedro Mezquital un cuerpo de agua único en su clase. Es el séptimo río más caudaloso del país, constituyendo la principal fuente de agua dulce del sur del estado de

Durango, y una de las principales fuentes de agua que alimentan la RBMN en la planicie costera del estado de Nayarit. A través de sus 540 km de longitud y los 2'767'406 ha que cubren su cuenca, el San Pedro conecta el desierto de Chihuahua con el Golfo de California, siendo el único río del continente americano en unir dos regiones biogeográficas. La gran diversidad de ecosistemas y especies asociadas a la cuenca del San Pedro, le han valido numerosas figuras de protección y reconocimiento a nivel nacional e internacional tanto en su parte alta (Reserva de la biosfera la Michilía-CONANP 1979; *Hotspot* Bosques de pino/Encino de la Sierra Madre-CI 1998; Región terrestre prioritaria Guacamayita – CONABIO 2000; parque nacional Sierra de Órganos – CONANP 2000), así como la planicie costera donde se encuentra Marismas Nacionales (Alianza WWF/ Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P). El río San Pedro desemboca en el sistema lagunar costero de Mexcaltitán, enriqueciendo la productividad marino-costera a través del estero de Camichín y una red de canales naturales y antropogénicamente modificados en las últimas tres décadas. El San Pedro presenta un volumen medio anual aforado de 2'734'57 hm<sup>3</sup>, y un gasto medio de 84,06 m<sup>3</sup>/s con caudales medios mensuales que oscilan entre los 3 y 303 m<sup>3</sup>/s (MIA PH Las Cruces).

El río San Pedro Mezquital no solo es vital para los paisajes y ecosistemas naturales que recorre, es fuente de vida para los más de 800,000 habitantes de tres estados (Durango, Zacatecas, y Nayarit), 26 municipios, y 1'766 localidades. Esta cuenca también alberga a cuatro grupos étnicos con aproximadamente 34'000 hablantes repartidos entre Durango (Tepehuanes del sur y Mexicaneros) y Nayarit (Coras o Náyerit y Wixákiras o Huicholes). Las actividades económicas dentro de la cuenca incluyen agricultura, ganadería, extracción forestal, turismo, pesca, y acuicultura de camarón y ostión en la parte más baja de la cuenca. En Nayarit, el río San Pedro suporta cultivos de riego y temporal, permitiendo la producción de frijol, maíz, tabaco, sorgo, arroz, hortalizas y frutales, entre otros. La extracción de agua de la cuenca, tanto subterránea como superficial, se da mayoritariamente por el sector agrícola (60% y 58%, respectivamente), seguido por el sector público urbano (27% -3%) y la acuicultura (40% del agua superficial); otros usos de menor demanda incluyen el sector industrial (4% del agua subterránea) y pecuario (1% del agua subterránea). Cuatro de los seis acuíferos de la cuenca ubicados en el estado de Durango se encuentran en estado de sobreexplotación, únicamente el acuífero del Valle del Mezquital (Durango) y el de San Pedro-Tuxpan en Nayarit mantienen una condición de sub-explotación. La creciente demanda de agua es una de las amenazas que enfrenta la cuenca (Alianza WWF/ Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P).

#### **1.4.2. Humedales de la cuenca baja del río San Pedro: Reserva de Biosfera Marismas Nacionales**

##### ***Marismas Nacionales***

En la parte más baja de la cuenca, y posterior a alimentar las planicies costeras, el río San Pedro Mezquital desemboca en el humedal conocido a nivel nacional e internacional como Marismas Nacionales. Sus 3'103 km<sup>2</sup> se extienden a través del estado de Nayarit y Sinaloa y los ocho municipios que lo comprenden (Escuinapa, Huajicori, Rosamorada, Rosario, San Blas, Santiago Ixcuintla, Tecuala, Tuxpan). Este sistema de manglares y lagunas costeras es el más extenso de todo México (310'300 ha), el cual incluye comunidades halófilas y selvas bajas caducifolias asociadas a los humedales; sus suelos ricos en nutrientes, son utilizados para actividades agrícolas, pecuarias, y forestales. Su importancia para la conservación radica en su alta productividad, su biodiversidad y alto nivel de endemismo (especialmente para vertebrados e insectos), los cuales le han valido numerosas figuras de protección (Cuadro 1). Marismas Nacionales es el hábitat de más de 460 especies de vertebrados, de los cuales 51

son especies endémicas y unas 60 se encuentran peligro de extinción, como resultado del deterioro, sobreexplotación y destrucción de su hábitat (Alianza WWF/ Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P).

La sección de Marismas Nacionales declara como ANP federal reserva de biósfera (12 de mayo de 2010) bajo la administración de la CONANP, comprende 133'854 ha del estado de Nayarit incluyendo a los municipios de Acaponeta, Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala y Tuxpan. Su superficie resguarda el 20% de los bosques de manglares del país y en sus lagunas se encuentra la isla de Mexcaltitán, lugar icónico de la cultura azteca (SEMARNAT, 2013).

Cuadro 1. Figuras de protección y reconocimiento, Marismas Nacionales (Fuente: Alianza WWF/ Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P).

1992	Reserva de la Red Hemisférica de Aves Playeras
1995	Humedal de Importancia Internacional – RAMSAR
1998	Región Marina Prioritaria – CONABIO
1998	Área de Importancia para la conservación de las Aves
1998	Área de Importancia para Aves Endémicas – Bird Life International
2000	Región Terrestre Prioritaria – CONABIO
2002	Región Hidrológica Prioritaria – CONABIO
2010	Reserva de la Biosfera – CONANP
2011	Reserva de Agua – CONAGUA

La problemática ambiental que enfrenta Marismas Nacionales no solo supone la pérdida del hábitat principal que lo compone, también amenaza el amplio abanico de SE que este sistema de manglares y lagunas costeras genera para la sociedad mexicana. La degradación de la calidad y funcionalidad del ecosistema, el cambio de uso de suelo a través de la desecación de los humedales para extender los potreros ganaderos y las zonas agrícolas tanto de temporal (hacia la costa) como de riego (tierra adentro), la fragmentación por construcción de obras de infraestructura (canales y carreteras), la destrucción del hábitat por cultivos de camarón, el aumento de la demanda hídrica con fines agrícolas, el detrimento de la calidad de agua a través de su cuenca, y la salinización de los humedales y las tierras aledañas, ponen de manifiesto los complejos conflictos sociales, económicos y de gobernabilidad del área (Alianza WWF/ Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P; SEMARNAT, 2013; CONANP, 2014). Adicionalmente se incluyen como amenazas a esta ANP los efectos del cambio climático y la construcción de represas hidroeléctricas sobre los ríos que le alimentan.

### ***Servicios ecosistémicos generados por los humedales***

Los SE generados por los humedales son numerosos, proporcionando grandes beneficios de alto valor tanto a la sociedad como a la economía. En su mayoría se relacionan con servicios ligados al agua (p. ej., provisión, regulación, y purificación de agua, así como recarga de mantos acuíferos), sin embargo, también incluyen funciones relacionadas al reciclaje de nutrientes, mitigación y adaptación al cambio climático, seguridad laboral y sustento de comunidades, recreación, turismo, conocimiento científico y tradicional, y valores culturales de identidad y espiritualidad (Cuadro 2). Adicionalmente, los humedales son ecosistemas críticos en la planificación estratégica para tratar temas de seguridad hídrica y alimenticia (CBD, 2015). Dado que una gran variedad de las actividades sociales y económicas del mundo se relacionan a la disponibilidad de agua y los SE que los humedales brindan a la sociedad, no es extraño que el *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 1997) estimara un valor total 15 trillones de dólares americanos por año. Como referencia y punto de comparación, en el Cuadro 3 se presenta un resumen

del valor económico total de algunos biomas desarrollado por De Groot et al., (2012).

Cuadro 2. Clasificación de las funciones de los humedales (Fuente: Schuyt y Brander, 2004).

<b>Funciones de los humedales</b>	
<b>Funciones de regulación:</b> regulación de procesos ecológicos	Almacenamiento y reciclaje de nutrientes Almacenamiento y reciclaje de desechos humanos Almacenamiento y reciclaje de desechos orgánicos Recargas de aguas subterráneas Descargas de agua subterránea Control natural de inundaciones y regulación del flujo Control de la erosión Control de la salinidad Tratamiento de aguas Estabilización climática Secuestro de carbono Mantenimiento de hábitats de crianza Mantenimiento de la estabilidad del ecosistema Mantenimiento de la integridad de otros ecosistemas Mantenimiento de la diversidad biológica y genética
<b>Funciones de transporte:</b> provisión de espacio para actividades	Agricultura, irrigación Ganadería Cosechas de productos silvestres/ recursos Transporte Producción de energía Turismo y recreación Vivienda y asentamientos humanos Hábitat y áreas de crianza para especies de flora y fauna
<b>Funciones de producción:</b> provisión de recursos	Agua Alimentación Madera para combustible Recursos medicinales Recursos genéticos Materias primas para construcción y uso industrial
<b>Funciones de información:</b> contribución a la salud mental a través de la provisión de información científica, estética y espiritual	Investigación, educación y monitoreo Unicidad, rareza, naturalidad y patrimonio cultural

Cuadro 3. Valor total de los servicios ecosistémicos (Fuente: De Groot et al., 2012).

Servicios ecosistémicos	Ecosistemas marinos	Arrecifes coralinos	Sistemas costeros*	Humedales costeros	Humedales continentales	Agua dulce (ríos/lagos)	Bosques tropicales	Bosques templados	Bosques	Pastizales
Valor económico total (USD/ha/año)	352'249	28'917	28'917	193'845	25'682	4'267	5'264	3'013	1'588	2'871

\*Sistemas costeros incluyen estuarios, plataforma continental, pastos marinos; excluyen manglares, marismas y humedales salobres

Los valores económicos derivados de los beneficios proveídos por los humedales han sido sistemáticamente más altos por unidad de área que otros ecosistemas, al menos un orden de magnitud mayor, y gran parte de este valor se deriva específicamente de su función en la regulación de agua (p. ej., educación del riesgo de desastres relacionados con el agua). La infraestructura natural de los

humedales y los servicios que proveen a la sociedad son comparables a los creados por el hombre, suelen tener un menor costo, y muchas veces los servicios naturales son complementarios a la infraestructura antropogénica en zonas cercanas a cuerpos de agua donde existen necesidades para regular y controlar flujos de agua (control de inundaciones). Los SE previstos por los humedales como zonas de amortiguamiento y regulación de inundaciones alcanzan los 464 USD/ha/año (Schuyt y Brander, 2004). Acerca de su capacidad para secuestrar y almacenar carbono, los humedales juegan un papel estratégico, superando la gran mayoría de ecosistemas. En términos de biodiversidad, los humedales son hábitats altamente biodiversos con elevado número de especies con importancia ecológica y económica, que viven dentro de estos ecosistemas, o dependen de estos en algún punto de su ciclo de vida. Los humedales son de particular importancia para especies migratoria (aves) como sitios de anidación, reproducción, alimentación y descanso. Para las comunidades urbanas y rurales que viven cerca o dentro de estos ecosistemas, los humedales son fuentes directas de trabajo y sustento a través de proveer áreas de crianza y reproducción de especies (p.ej., pesquerías), fuentes de agua para áreas de agricultura, fuentes de materias primas (madera), y control de inundaciones, entre otros (CBD, 2015). En la Figura 1 se amplían las referencias acerca de los valores que los humedales pueden representar según los SE generados. En paréntesis se incluyeron el número de observaciones utilizada en el análisis de cada SE.

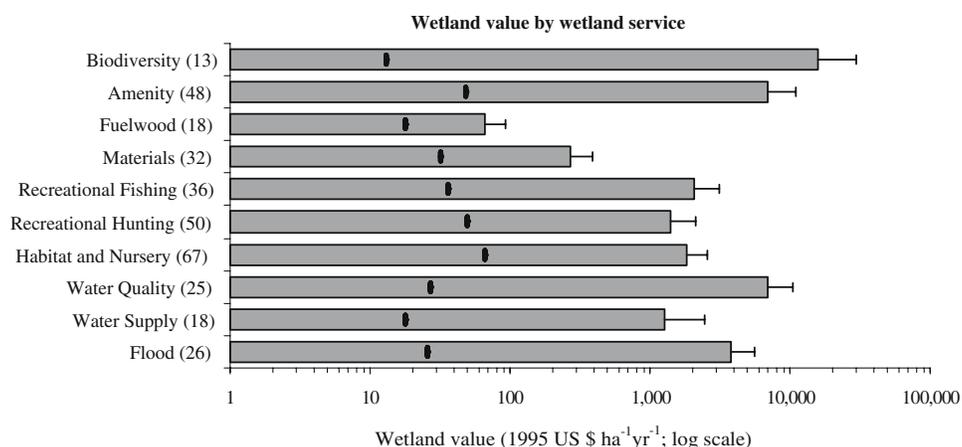


Figura 1. Valor de los humedales por servicios ecosistémicos proveídos (Fuente: Brander et al., 2006)

En los diferentes capítulos del estudio se irán explorando en mayor detalle algunos de estos servicios junto con los valores económicos generados a la sociedad y las economías locales.

### 1.4.3. Proyecto hidroeléctrico Las Cruces

El proyecto hidroeléctrico Las Cruces es una obra de infraestructura propuesta por la CFE de México y avalada por el gobierno del estado de Nayarit, con el objetivo de contribuir a satisfacer la demanda de energía eléctrica pronosticada para el área de Occidente del país, de acuerdo al pronóstico en el crecimiento de la demanda (promedio de 3,7% de crecimiento anual entre 2012 y 2016; SENER, 2012; ) y según los requerimientos de capacidad en los que se basa el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2016 (POISE). Los 240 MW de capacidad adicionales que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces estaría generando (capacidad neta del proyecto), estarían satisfaciendo la demanda del sistema

(en horas pico) a un menor costo total (menores costos de operación del sistema eléctrico evitando el consumo de combustibles fósiles) en el largo plazo, y con un potencial conceptual alto como acumuladores de energía (embalses), posibilitando su operación con base en las necesidades de la demanda (MIA PH Las Cruces).

La obra requiere de 5'349'8 ha localizadas en la parte central del estado de Nayarit, sobre el cauce del Río San Pedro Mezquital, 250 aguas arriba de la confluencia con el arroyo El Naranjo (coordenadas geográficas 22° 05' 19" de latitud norte y 104° 57' 03" de longitud al oeste de Greenwich) (Figura 2). De su extensión total 4'506'20 ha serán inundadas para formar el embalse Las Cruces, 162'79 ha se utilizarán para la presa de cambio de régimen y 138'82 ha para el embalse presa de cambio de régimen, la construcción de obras del proyecto ocupa 228'57 ha, y los caminos margen a ambos lados requieren 338'42 ha; la cortina de concreto sería de 188 m de altura. El proyecto prevé generar 751 GWh/año mediante un factor de planta de 0,36 (promedio de 8.64 h/día/año). La inversión requerida es de 7'995 millones de pesos mexicanos (MDP) (639'6 millones de USD) a través de cuatro años (49 meses) según la CFE, lo que representan aproximadamente unos 5'000 empleos en la fase pico de construcción (2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> año) y otros 5'000 empleos indirectos (MIA PH Las Cruces). No se cuenta con información más detallada acerca de estos empleos, su equivalente de tiempo completo ni el monto de los salarios.

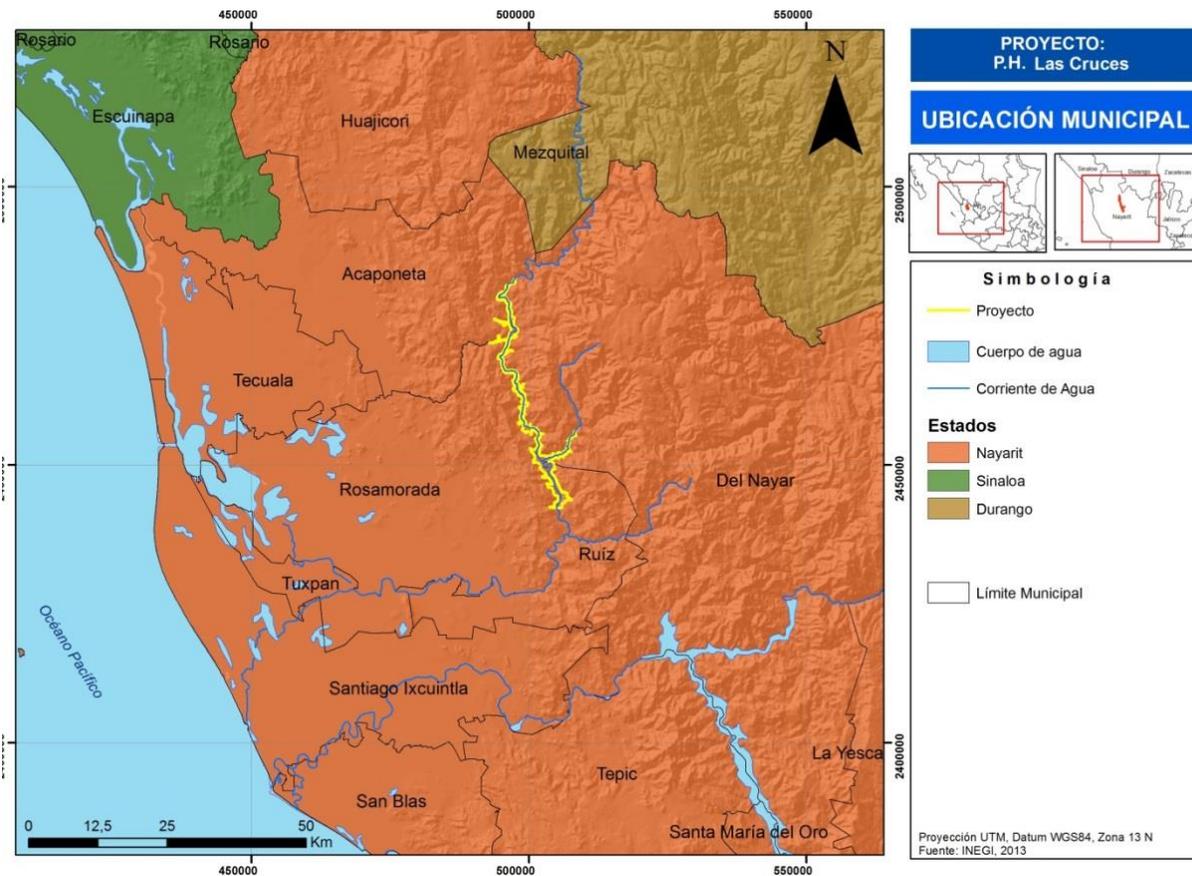


Figura 2. Localización del proyecto hidroeléctrico las Cruces, estado de Nayarit (MIA PH Las Cruces).

La Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) del proyecto hidroeléctrico Las Cruces indica que el proyecto es congruente con los objetivos y estrategias establecidos en los instrumentos de planeación vigentes (2013-2018) de carácter federal, incluyendo: Plan Nacional de Desarrollo, Programa Sectorial de Energía y POIS 2012–2026, contribuyendo a la diversificación de las fuentes de energía y reducción

de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Respecto a los programas de conservación que aplican en la región y regulan el uso del suelo indicados en la MIA (Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio; Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Durango; Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California; Ordenamiento Ecológico Territorial de la Zona Costera del Municipio de El Rosario, Sinaloa; Plan de Manejo Tipo Regional para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de Manglares en Marismas Nacionales, Nayarit.), se indica que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces no se contrapone a lo establecido en dichos documentos, y se menciona que las acciones y medidas de mitigación, control, prevención, restauración, y compensación de daños e impactos ambientales son de conformidad a las estrategias y acciones de los instrumentos de política ambiental de México (MIA PH Las Cruces).

Al observar la identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales ligados al proyecto que la CFE menciona en la MIA, llaman la atención que varios de estos no indican medidas de mitigación y/o compensación, aun cuando la certidumbre de la magnitud del impacto es alta. En otros casos la magnitud de los impactos se indica como media o baja, sin embargo, los resultados presentados en este estudio indican lo opuesto (p.ej., sustitución de ecosistemas acuáticos (no se mencionan los humedales de forma específica), modificación del transporte de sedimentos y nutrientes en el río y al sistema lagunar, modificación de procesos morfogénéticos en planicies de inundación y humedales), por lo que se recomienda hacer una revisión la evaluación, plan de mitigación y compensación de los impactos ambientales identificados por la CFE. En el Cuadro 4 se incluyeron aquellos impactos ambientales considerados en este estudio y para los cuales la CFE no considera una mitigación y/o compensación; la lista completa de impactos ambientales publicados en la MIA se presenta en el Anexo 6.1.

Cuadro 4. Impactos ambientales causados por la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico Las Cruces incluidos en el presente estudio que no presentan medidas de mitigación ni compensación (Fuente: MIA PH Las Cruces).

Impactos	Categoría de impactos	Mitigación	Compensación	Relación con generadores de cambio preexistentes	Alcance geográfico (UAR)	Certidumbre de la magnitud del impacto
<b>Impactos originados por la construcción y creación del embalse</b>						
Sustitución de ecosistemas acuáticos	2		C		1	media
Generación de GEI por descomposición anaerobia	1				1	alta
Alteración de los procesos geomorfológicos aguas abajo de la cortina	1			si	3-4	baja
<b>Impactos originados por la operación del sistema de generación hidroeléctrica</b>						
Cambios en el uso de suelo de las zonas de la planicie inundable	2			si	3-4	alta
Modificación de las actividades productivas en las zonas inundables de la planicie costera	2				3-4	alta
Modificación del transporte de nutrientes y sedimentos en el río San Pedro	1		C		2-4	baja
Modificación de procesos morfogénéticos en planicies de inundación y humedales	1			si	3-4	baja
Modificación del transporte de nutrientes y sedimentos al sistema lagunar	2		C	si	2-4	baja

Es el manejo del agua del río San Pedro para la generación de energía, el tema crítico que vincula el proyecto hidroeléctrico con las cuatro ANP presentes en la zona, especialmente Marismas Nacionales, y

en como la construcción de la presa afectará los ecosistemas ligados a la hidrología del río. LA CFE propone medidas de mitigación (p.ej., presa de cambio de régimen) que alcancen caudales mínimos y máximos y así simulen y estabilicen el caudal diario y el régimen del caudal natural del río, evitando repercusiones significativas sobre el ecosistema de Marismas Nacionales. Detalles de los impactos ambientales y medidas de mitigación y compensación identificados, descritos y evaluados por la CFE se pueden consultar en la MIA del proyecto, donde dividen impactos directos originados por la construcción y creación del embalse, e impactos por la operación del sistema de generación hidroeléctrica.

## 2. Enfoque metodológico y fuentes de información

### 2.1. Introducción general al concepto de valoración de impacto

El concepto de la valoración de impacto intenta captar las interacciones sociedad-naturaleza- economía, a través de un enfoque innovador acerca de lo que se considera como un valor. El concepto de valoración de impacto va más allá de la monetización, y se refiere al proceso de estimar la importancia relativa, el valor o utilidad del capital natural para la sociedad. Es por esto que las valoraciones pueden ser de tipo cualitativo, cuantitativo o monetario, o bien, una combinación de estas (Natural Capital Coalition, 2016).

La Figura 3 ilustra como las actividades económicas tienen impactos directos sobre el capital social (1a) y el capital natural (1b). Dentro de este mismo circuito, nosotros como sociedad dependemos de que la economía funcione para mantener nuestro bienestar, y paralelamente, nuestras economías dependen de la existencia del capital social para poder operar (2), generando numerosas vías de impacto (3) (p. ej., condiciones laborales, seguridad industrial, salud ocupacional, salarios, entre otros).

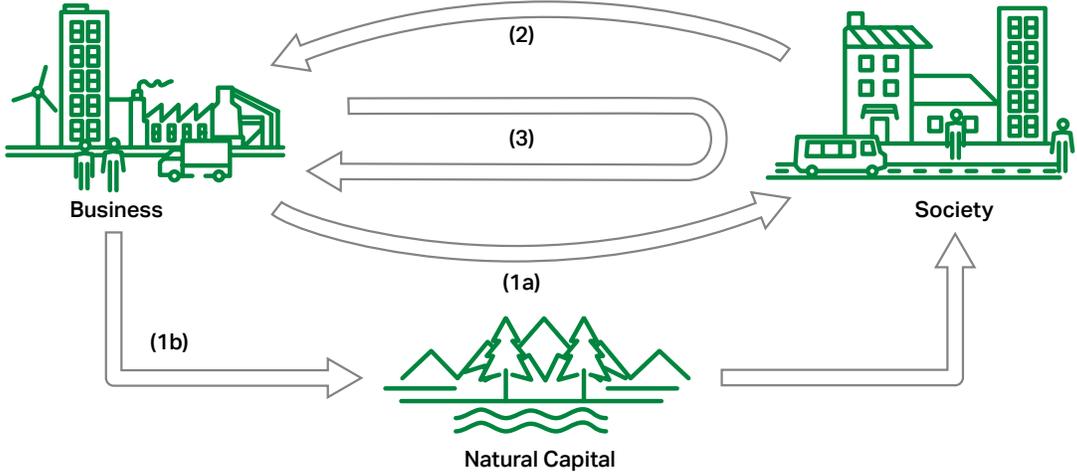


Figura 3. Conexiones entre la economía (negocios) y el capital social y ambiental (WBCSD, 2017).

Más detalles acerca la metodología de la valoración de impacto pueden ser consultados en los protocolos más recientes utilizados por el sector privado, incluyendo el Protocolo para el Capital Natural (Natural Capital Coalition, 2016) y el Protocolo para el Capital Social (World Business Council for Sustainable Development - WBCSD, 2017) (Figura 4). Ambos documentos constituyen la base

metodológica del estudio descrito en este reporte. La esencia conceptual de la valoración de impacto se basa en la definición de lo que se conoce como vías de impacto, las cuales facilitan la comprensión de los cambios ocurridos, desde las causas y actividades, hasta los productos, los resultados y los impactos generados.



Figura 4. Protocolos más recientes acerca de del Capital Natural y Social (NCP, 2016; SCP, 2017).

Los mapas se construyen a través de la identificación de las diferentes vías de impacto, las cuales en conjunto constituyen el marco conceptual de la valoración de impacto específico que se analice. Un ejemplo ilustrativo de un mapa de impacto para el capital social se muestra en la Figura 5.

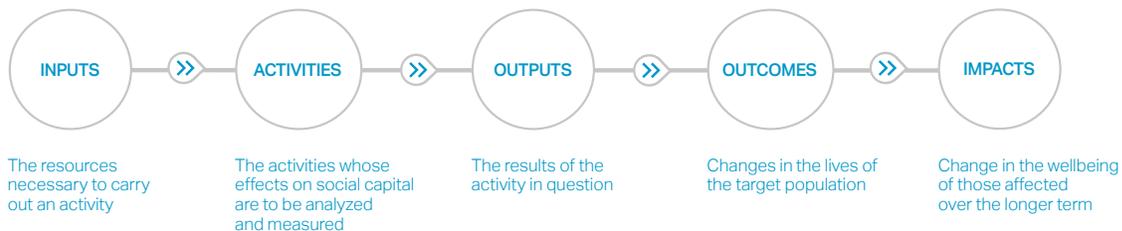


Figura 5. Ilustración de una vía de impacto (WBCSD, 2017).

El último paso dentro del enfoque de la valoración de impacto se concentra en valorar económicamente los impactos analizados en el proceso. Existen diferentes técnicas para desarrollar valoraciones económicas; algunas de las más utilizadas se incluyen en la Figura 6.



Figura 6. Técnicas de valoración (Fuente: Dupras y Reveret, 2015).

En el presente estudio, los resultados analizados se definieron como las consecuencias o impactos directos de los cambios generados por la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces:

1. Cambios sociales
2. Impactos directos en el sitio de construcción del proyecto
3. Cambios en el régimen de inundaciones
4. Cambios en el régimen de sedimentos

Cada una de estas vías de impacto y sus resultados se describen en los diferentes capítulos de este reporte, analizando los cambios potenciales entre la situación anterior y posterior a la construcción del embalse durante un periodo de 25 años, comenzando con el primer año de construcción de la presa (

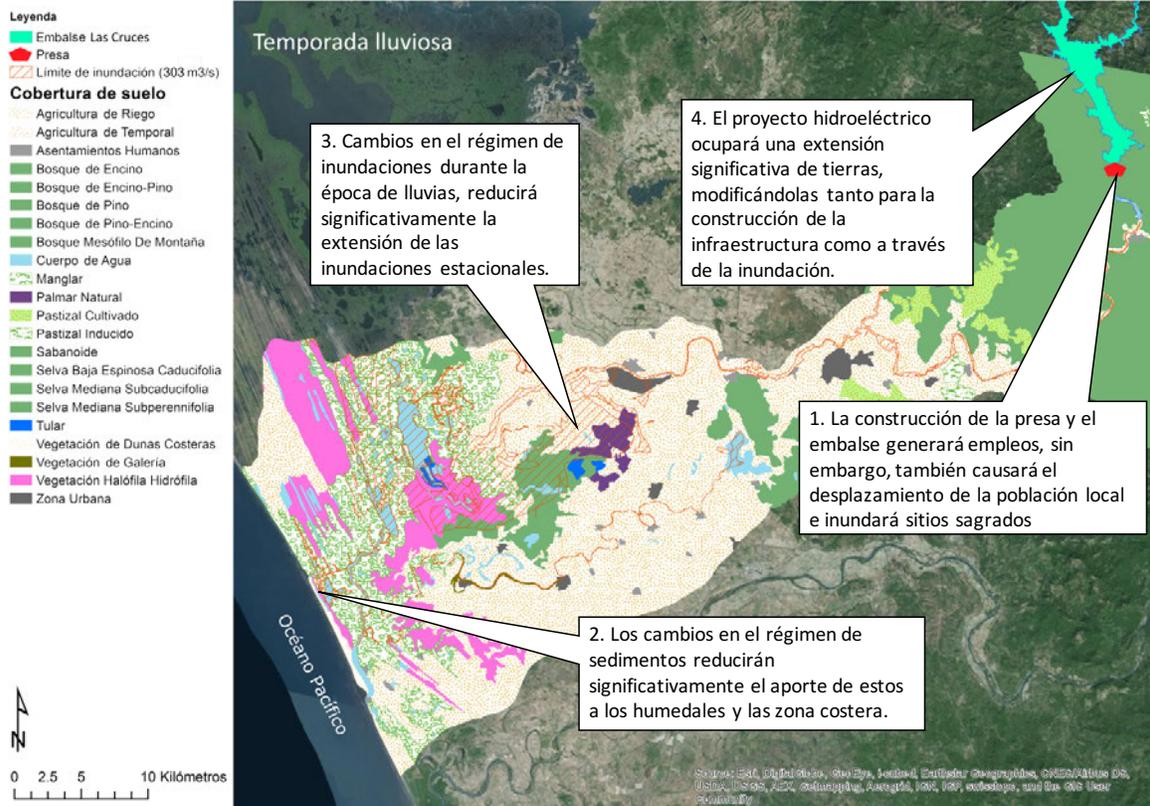


Figura 7).

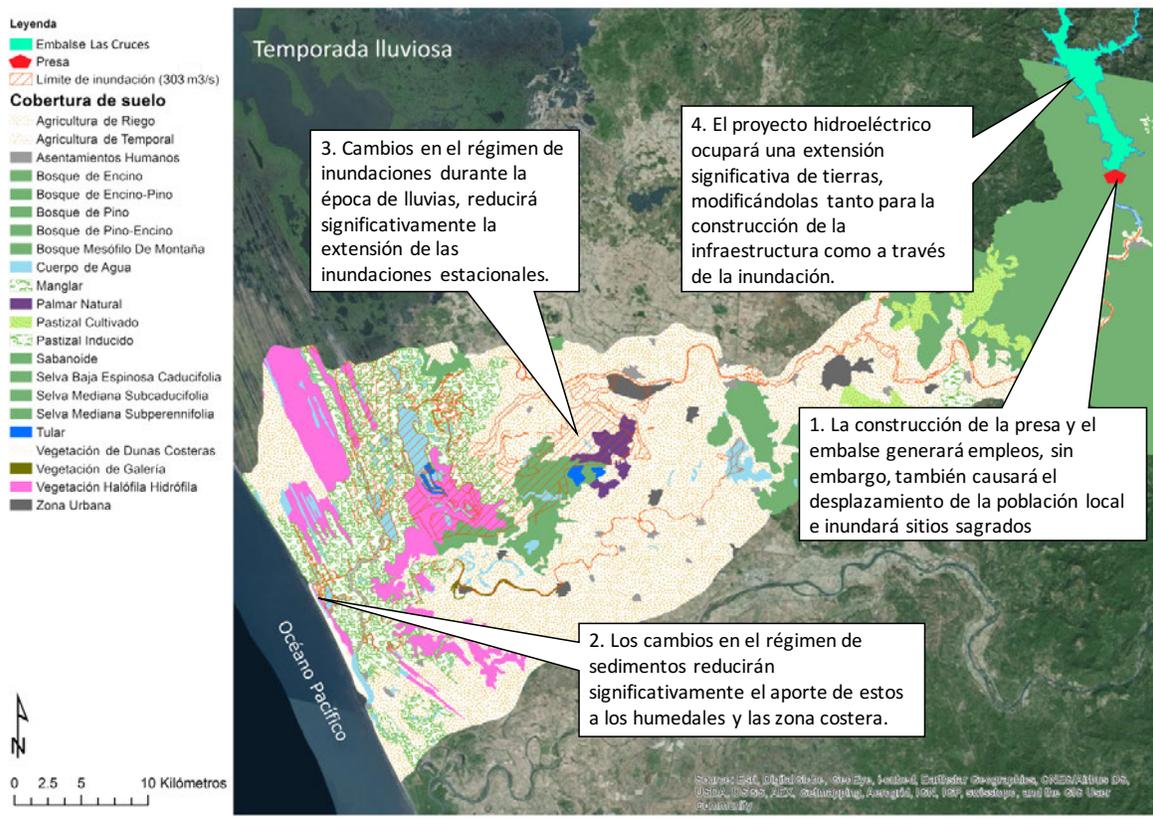


Figura 7. Principales impactos de la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces (Fuente: elaboración propia).

La caracterización de las vías de impacto que la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces generaría, permitió identificar potenciales resultados, los cuales fueron evaluados a través de diferentes técnicas de valoración. Estos se presentan en la Figura 8 y son descritos en detalle en los siguientes capítulos del reporte. Estos no son los únicos impactos (positivos y negativos) ligados al proyecto, existen otros cuya cuantificación no fue posible realizar o no existen datos publicados que permitan su análisis.

Productos	Cambios Sociales	Impactos directos del proyecto	Régimen de inundaciones	Régimen de sedimentos
<b>Resultados</b>	Población desplazada Sitios sagrados Empleos <i>Turismo</i>	Territorio cubierto por el embalse Emisiones de GEI por el embalse Huella de carbono – construcción del proyecto	Calidad de agua Biodiversidad/hábitat Almacenamiento y secuestro de CO <sub>2</sub> Pesquerías Agricultura	Calidad de agua Biodiversidad/hábitat Almacenamiento y secuestro de CO <sub>2</sub> Pesquerías Agricultura Protección contra eventos extremos

Figura 8. Marco de referencia de los resultados obtenidos (Fuente: elaboración propia).

En la siguiente ilustración se describen de forma gráfica los potenciales resultados que la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces podría generar (Figura 9) de manera cronológica y acorde al periodo considerado para el análisis de este estudio (25 años). Las líneas punteadas (verticales) indican las tres principales fases del proyecto a través de las cuales se evaluaron sus impactos, comenzando con la fase de construcción de la presa (5 años), pasando por el periodo de llenado del embalse (3.4 años), hasta la fase de operación en la que el proyecto estaría generando energía (16.6 años). Como se puede apreciar, el tipo y el valor de las externalidades positivas (en verde) y negativas (en amarillo) generadas por el proyecto en cada una de estas etapas varían.

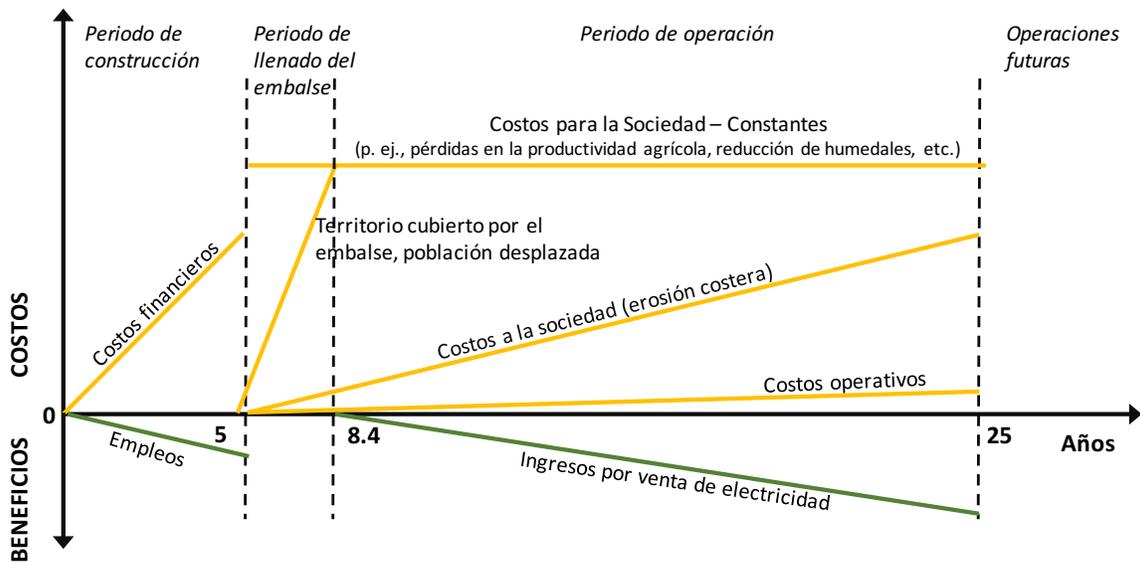


Figura 9. Cronología del proyecto y distribución de los valores sociales y financieros (Fuente: elaboración propia).

## **2.2. Tasa de descuento**

El uso de la tasa de descuento es un factor financiero comúnmente utilizado para reflejar el valor monetario en el tiempo, y se emplea como una herramienta para evaluar proyectos de inversión. Al reflejar el valor del impacto generado en el futuro, este suele ser menor al valor del mismo impacto en el presente. La tasa de descuento básica empleada en el análisis financiero consideraría un valor cercano al valor de depreciación o a las tasas de interés. Para proyectos analizados con base en el impacto sobre el capital social y natural, el valor de la tasa de descuento varía dependiendo de la técnica de valoración que se utilice, bien sea que la valoración económica se base en costos o valores de mercado, o bien, en la disponibilidad a pagar (DAP) o disponibilidad a aceptar (DAA). En general, las tasas de descuento utilizadas en las valoraciones de impacto sociales son mayores que aquellas utilizadas para los análisis financieros.

Dentro del modelo de Excel diseñado para este estudio se integró un parámetro dinámico, que permite ajustar el valor de la tasa de descuento fácilmente. Dependiendo de la audiencia, diferentes tasas de descuento pueden ser usadas. El sector privado, por ejemplo, tiende a considerar tasas de descuento más altas para valores ambientales y sociales, mientras las usadas por las organizaciones no gubernamentales (ONG) y los gobiernos en los mismos temas suelen ser menores.

Para propósitos de este estudio y manteniendo la congruencia con el concepto de sostenibilidad, no se utilizó una tasa de descuento para presentar los resultados, asumiendo que el valor futuro es igualmente valioso al valor presente. Esta decisión refleja la opinión de los autores, la cual puede no ser compartida por otros actores claves. En el Anexo 6.2 se presentan los resultados del estudio empleando una tasa de descuento de 3.9% (se utilizó el promedio de la tasa de inflación para México de los últimos seis años como una referencia para definir la tasa de descuento).

## **2.3. Valor de transferencia, inflación y paridad de poder adquisitivo**

Algunas de las valoraciones presentadas a continuación se basan en resultados generados por estudios desarrollados en un contexto y geografía distintas a las de este proyecto. Los valores que se transfieren de un estudio a otro requieren ser ajustados para integrar factores propios del contexto que pudieran afectar de manera interna y/o externa los valores a utilizar (p.ej., inflación y la paridad de poder adquisitivo (PPA)), así como integrar el cambio del valor en el tiempo. El uso de la transferencia de valores se indica en los análisis donde esta técnica de valoración se utilizó; sin embargo, no se hicieron ajustes por inflación o PPA, dado que los valores de transferencia se tomaron de estudios de meta-análisis, cubriendo un gran número de publicaciones con fechas y geografías diferentes. Adicionalmente, los diferentes métodos de valoración utilizados en cada uno de los estudios incluidos en los meta-análisis no fueron incluidos, limitando así la posibilidad de ajustar los valores de transferencia. Se consideró que estos no eran necesarios y que tampoco contribuyen de manera significativa a los resultados obtenidos, siendo la variabilidad derivada de los factores internos, mucho mayor a la de los factores externos.

## **2.4. Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad del estudio se desarrolló con el fin de comprender como cambian los resultados de acuerdo a la variabilidad de los diferentes parámetros claves. Se trabajó con valores bajos y altos, que representan las condiciones más óptimas o menos idóneas para la realización del proyecto. Los estimados bajos se emplearon para ejemplificar las condiciones más favorables en las que el

proyecto podría desarrollarse, reduciendo los costos y maximizando los ingresos, mientras que los valores máximos o estimados altos ilustran un escenario opuesto, es decir mayores costos y menores ingresos. En el

Cuadro 5 y

Cuadro 6 se indican los valores bajos y altos utilizados para cada variable analizada; los valores promedio se consideran los más factibles para analizar la factibilidad del proyecto, y se presentan en la sección de resultados de este reporte como resultado principal del modelo generado. En el modelo de Excel es posible modificar el valor (mínimo, máximo, promedio) de cada variable, facilitando observar la variabilidad de cada factor.

Cuadro 5. Resumen de los valores utilizados en el análisis de sensibilidad (Fuente: elaboración propia).

		Estimaciones con valores promedio / sin tasa de descuento	Estimaciones con valores mínimos / sin descuento	Estimaciones con valores máximos / sin descuento
Impactos Sociales	Trabajos	Salario mensual de 3'918 MXN	Salario mensual de 4'955 MXN, asumiendo un salario digno en México (datos de 2017)	Salario mensual de 1'680 MXN, asumiendo un salario mínimo en México (datos de 2017)
	Sitios Sagrados	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 800MXN	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 500MXN	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 2'500MXN
	Población desplazada	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 800MXN	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 500MXN	Valor del costo del recibir apoyo psicológico, por consulta por persona: 2'500MXN
Impactos del Proyecto	Territorio cubierto por el embalse	Suja de los servicios ecosistémicos por hectárea proveídos por el área sujeta a inundaciones por la creación del embalse: 26,059MXN/ha/año	Suja de los servicios ecosistémicos por hectárea proveídos por el área sujeta a inundaciones por la creación del embalse: 13,128MXN/ha/año	Suja de los servicios ecosistémicos por hectárea proveídos por el área sujeta a inundaciones por la creación del embalse: 232,820MXN/ha/año
	Emisiones de GEI por el embalse	Costo social del carbono: 1,280MXN/tCO <sub>2e</sub> Adicionalmente, las emisiones de GEI producidas por el embalse se estimaron en: 523 mgC/m <sup>2</sup> /día para CO <sub>2</sub> y 68 mgC/m <sup>2</sup> /día CH <sub>4</sub>	Costo social del carbono: 640MXN/tCO <sub>2e</sub> Adicionalmente, las emisiones de GEI producidas por el embalse se estimaron en: 386 mgC/m <sup>2</sup> /día para CO <sub>2</sub> y 24 mgC/m <sup>2</sup> /día CH <sub>4</sub>	Costo social del carbono: 3,282MXN/tCO <sub>2e</sub> Adicionalmente, las emisiones de GEI producidas por el embalse se estimaron en: 660 mgC/m <sup>2</sup> /día para CO <sub>2</sub> y 112 mgC/m <sup>2</sup> /día CH <sub>4</sub>
	Emisiones de GEI derivados de la construcción del proyecto	Costo social del carbono: 1,280MXN/tCO <sub>2e</sub>	Costo social del carbono: 640MXN/tCO <sub>2e</sub>	Costo social del carbono: 3,282MXN/tCO <sub>2e</sub>
Régimen de Inundaciones	Calidad de agua	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 558MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 443MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 673MXN/ha/año
	Biodiversidad / hábitat	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 558MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 246MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 853MXN/ha/año
	Secuestro y almacenamiento de carbono	Costo social del carbono: 1,280MXN/tCO <sub>2e</sub>	Costo social del carbono: 640MXN/tCO <sub>2e</sub>	Costo social del carbono: 3,282MXN/tCO <sub>2e</sub>
	Pesquerías	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 886MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 0MXN/ha/año, asumiendo que la pérdida de áreas de crianza no afectará los recursos pesqueros	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 615,375/ha/año, asumiendo que la pérdida de áreas es crítica para mantener los servicios de áreas de crianza para las pesquerías
	Agricultura	30% de pérdidas del rendimiento generado por la reducción en el transporte y deposición de sedimentos ligados a los cambios en el régimen de inundaciones generadas por el proyecto	10% de pérdidas del rendimiento generado por la reducción en el transporte y deposición de sedimentos ligados a los cambios en el régimen de inundaciones generadas por el proyecto	50% de pérdidas del rendimiento generado por la reducción en el transporte y deposición de sedimentos ligados a los cambios en el régimen de inundaciones generadas por el proyecto

Cuadro 6. Continuación del resumen de los valores utilizados en el análisis de sensibilidad (Funete: elaboración propia).

		Estimaciones con valores promedio / sin tasa de descuento	Estimaciones con valores mínimos / sin descuento	Estimaciones con valores máximos / sin descuento
Régimen de Sedimentos	Calidad de agua	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 558MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 443MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por filtración de agua por hectárea: 673MXN/ha/año
	Biodiversidad/hábitat	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 558MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 246MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por biodiversidad/ hábitat por hectárea: 853MXN/ha/año
	Secuestro y almacenamiento de carbono	Costo social del carbono: 1,280MXN/tCO <sub>2</sub> e	Costo social del carbono: 640MXN/tCO <sub>2</sub> e	Costo social del carbono: 3,282MXN/tCO <sub>2</sub> e
	Pesquerías	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 886MXN/ha/año	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 0MXN/ha/año asumiendo que la pérdida de áreas de crianza no afectará los recursos pesqueros	Valor del servicio ecosistémico por pesquerías por hectárea: 615,375MXN/ha/año, asumiendo que la pérdida de áreas es crítica para mantener los servicios de áreas de crianza para las pesquerías
	Agricultura	-	-	-
	Protección contra eventos climáticos extremos	-	-	-
Análisis Financiero	Resultados netos	Costos de construcción: 10.49 BDP. Los ingresos se calcularon con base en el siguiente precio para la electricidad: 542MXN/MWh	Costos de construcción: 10.49 BDP. Los ingresos se calcularon con base en el siguiente precio para la electricidad: 935MXN/MWh	Costos de construcción: 17.8 BDP. Los ingresos se calcularon con base en el siguiente precio para la electricidad: 542MXN/MWh

## 2.5. Precio del carbono

Para la valoración de carbono, el valor promedio se basó en los resultados del meta-análisis publicado por Price Waterhouse and Cooper (PwC, 2015), quienes indicaron un precio promedio de 78 USD/ton/CO<sub>2</sub>-eq. Los valores mínimos y máximos empleados en los tres escenarios fueron de 30 USD/ton/CO<sub>2</sub>-eq (Nordhaus, 2016; EPA, 2017) y de 200 USD/ton/CO<sub>2</sub>-eq (Moore y Díaz, 2015). Los tres valores mencionados están basados en el costo social del carbono (SC-CO<sub>2</sub> por sus siglas en inglés), el cual es una medida monetaria (USD) del daño a largo plazo causado por una tonelada de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un año dado (p.ej., cambios en la producción agrícola neta, salud humana, daños a propiedades derivados del aumento de riesgo a inundaciones, cambios en el costo del sistema energético, entre otros) (EPA, 2017).

## 2.6. Delimitación del área de estudio para el análisis de valoración

La delimitación del área geográfica de estudio sujeta a los análisis de valoración se realizó con base en aquellas zonas sujetas a sufrir impactos directos e indirectos por el proyecto hidroeléctrico; en este caso se consideraron dos zonas de interés para los análisis: el área de construcción del proyecto y áreas de inundación, y la parte baja de la cuenca.

Los impactos directos de la construcción del proyecto incluyen una modificación permanente al hábitat, es decir un cambio en su topografía, cobertura de suelo y tipo de ecosistema. Estos ocurrirían en el área destinada a la construcción del proyecto, ya sea por inundación o por remoción de la vegetación existente. Las zonas sujetas a los impactos directos de la construcción suman un total de 5'493'26 ha, e

incluyen áreas destinadas para construir los accesos al proyecto (455'66 ha), áreas de inundación (4'588 ha), y áreas de trabajos del proyecto (449'56 ha).

Los efectos indirectos de la construcción de la presa se generan como consecuencia de los cambios en las dinámicas hidrológicas del río en la parte media y baja de la cuenca posterior al proyecto, siendo la regulación del caudal y la retención de sedimentos las dos mayores consecuencias observadas en este tipo de proyectos de infraestructura. Se incluyó en este estudio como zona de interés la sección baja de la cuenca del río San Pedro, en la cual se espera que la presa genere cambios en los ecosistemas (p.ej., humedales costeros y sistemas lagunares, playas) y SE (p.ej., pesquerías, aporte de nutrientes y sedimentos) de los cuales depende la economía local a través de los aportes del río.

La delimitación del área de interés se realizó integrando información de: a) las cuencas hidrográficas presentes en la zona (cuencas del río Acaponeta, San Pedro, Santiago y El Palillo), b) su zonificación funcional y c) el área activa del río (Cotler et al., 2007). En este caso se delimitó la cuenca hidrográfica del Río San Pedro según la delimitación de cuencas de INEGI-INE-CONAGUA usada por CFE en la MIA (Figura 10).

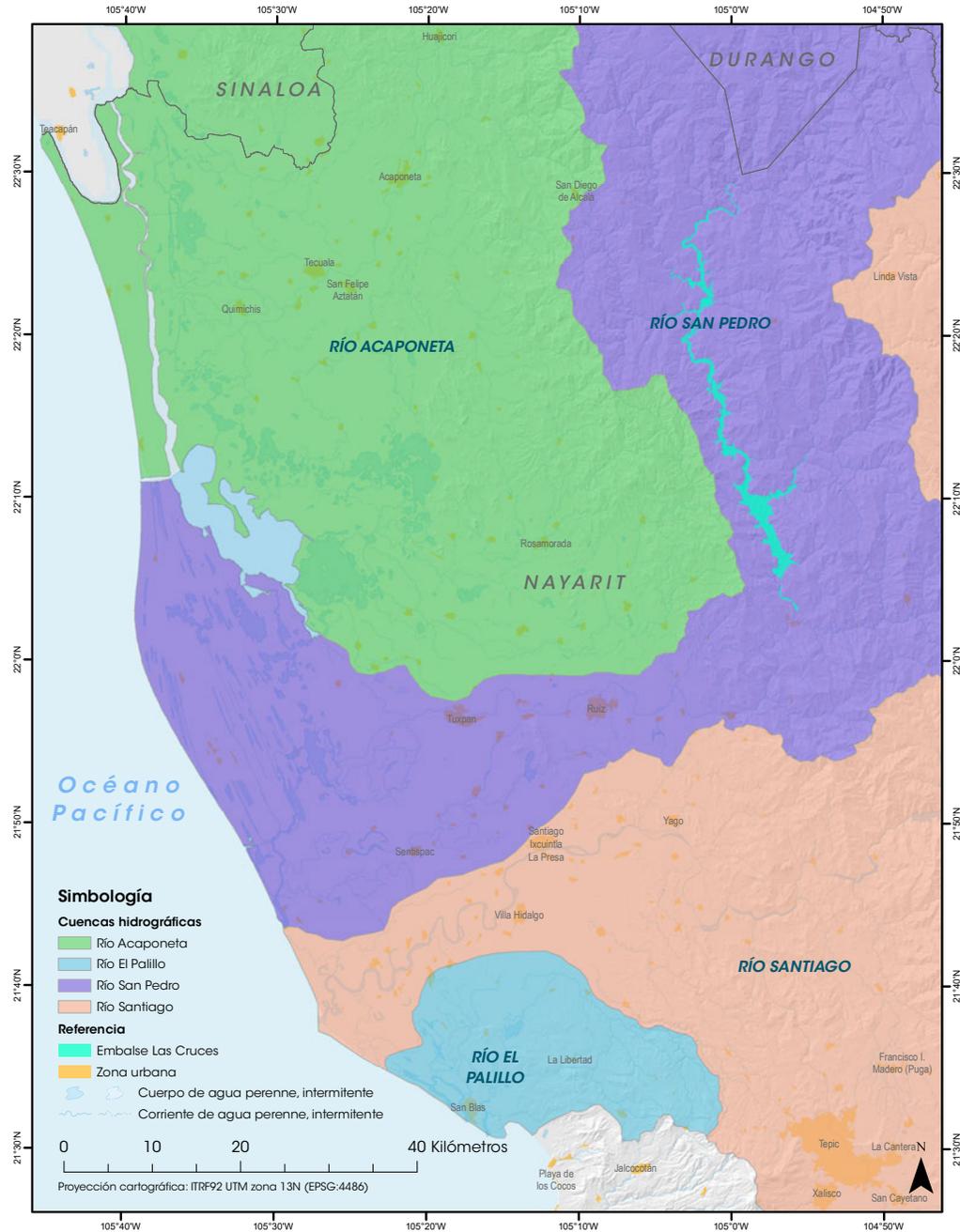


Figura 10. Cuencas hidrográficas presentes en el área general de estudio (elaboración propia. Fuente: Cotler H., Garrido A., Mondragón R., Díaz A. 2007. *Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250'000*. México: INEGI-INECONAGUA).

La zonificación funcional de las cuencas únicamente incluyó su parte baja, es decir las planicies de inundación ordinaria y extraordinaria, las terrazas fluviales y los lechos ordinarios y extraordinarios de inundación, y los abanicos coalescentes. Esta sección se caracteriza por presentar sistemas meándricos y lagunares, con una pendiente del relieve mínima o nula, mínima energía y con evidentes procesos deposicionales (Garrido et al., 2009) (Figura 11).

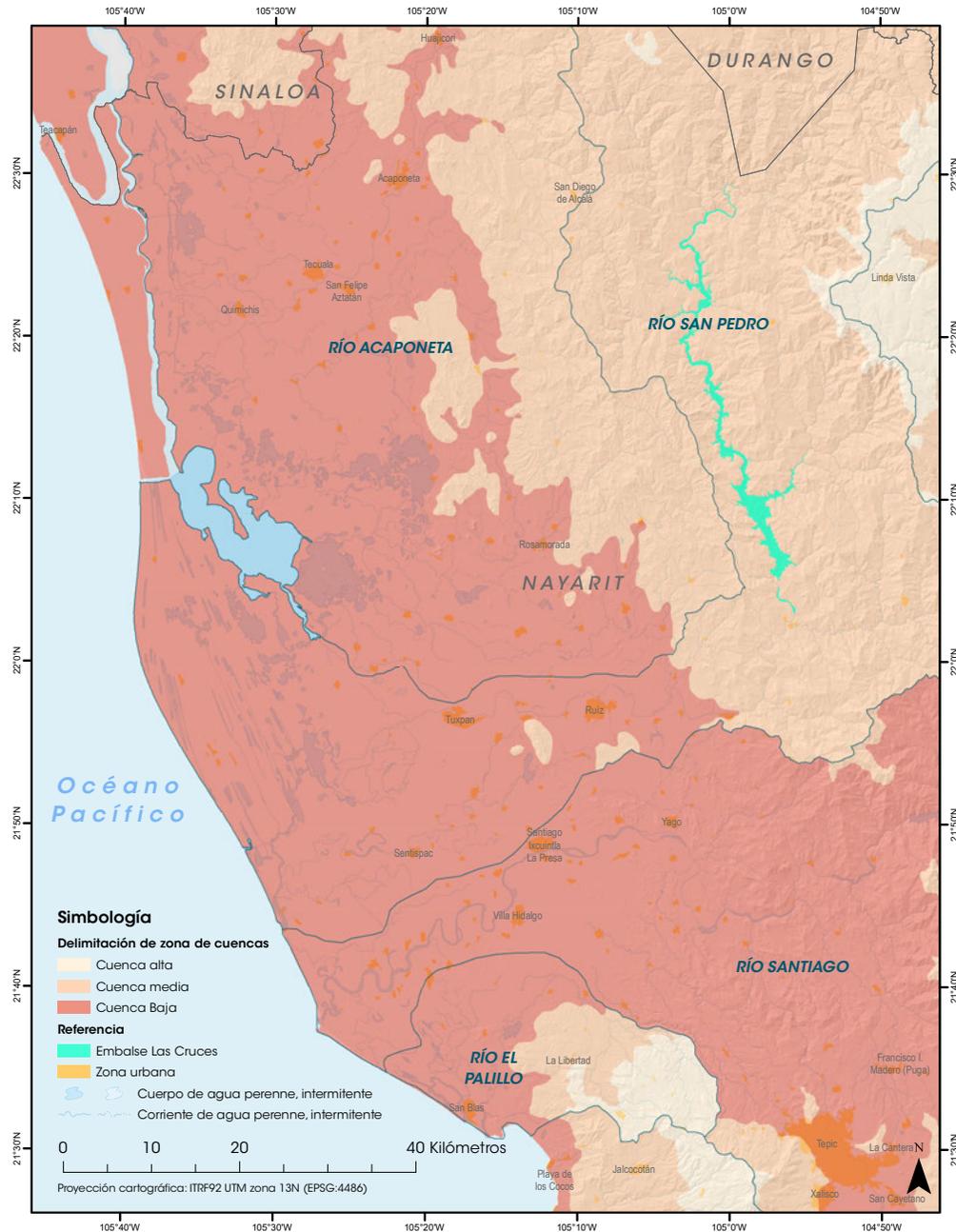


Figura 11. Zonificación funcional de las cuencas en el área de estudio (Fuente: Garrido, et al., 2009. *Zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México*, escala 1:250'000. México: INE, SEMARNAT).

El área activa del río San Pedro es difusa en su parte baja (planicie aluvial de Marismas Nacionales) en términos de su aporte hídrico (superficial y subterráneo), debido a la confluencia de otros ríos, y a la compleja red de canales naturales y artificiales que ocurren en la llanura. Para definir el área activa del río se utilizó el modelo de Área de Río Activo (*Active River Area - ARA*) desarrollado por *The Nature Conservancy* (TNC) (elaboración propia con base en Barrett y Analie, 2011) (Figura 12). La delimitación del área de estudio permitió generar y tener acceso a datos de la región procesados de carácter geográfico, ambiental, económico y social, importantes para alimentar el modelo de valoración (Figura 13).

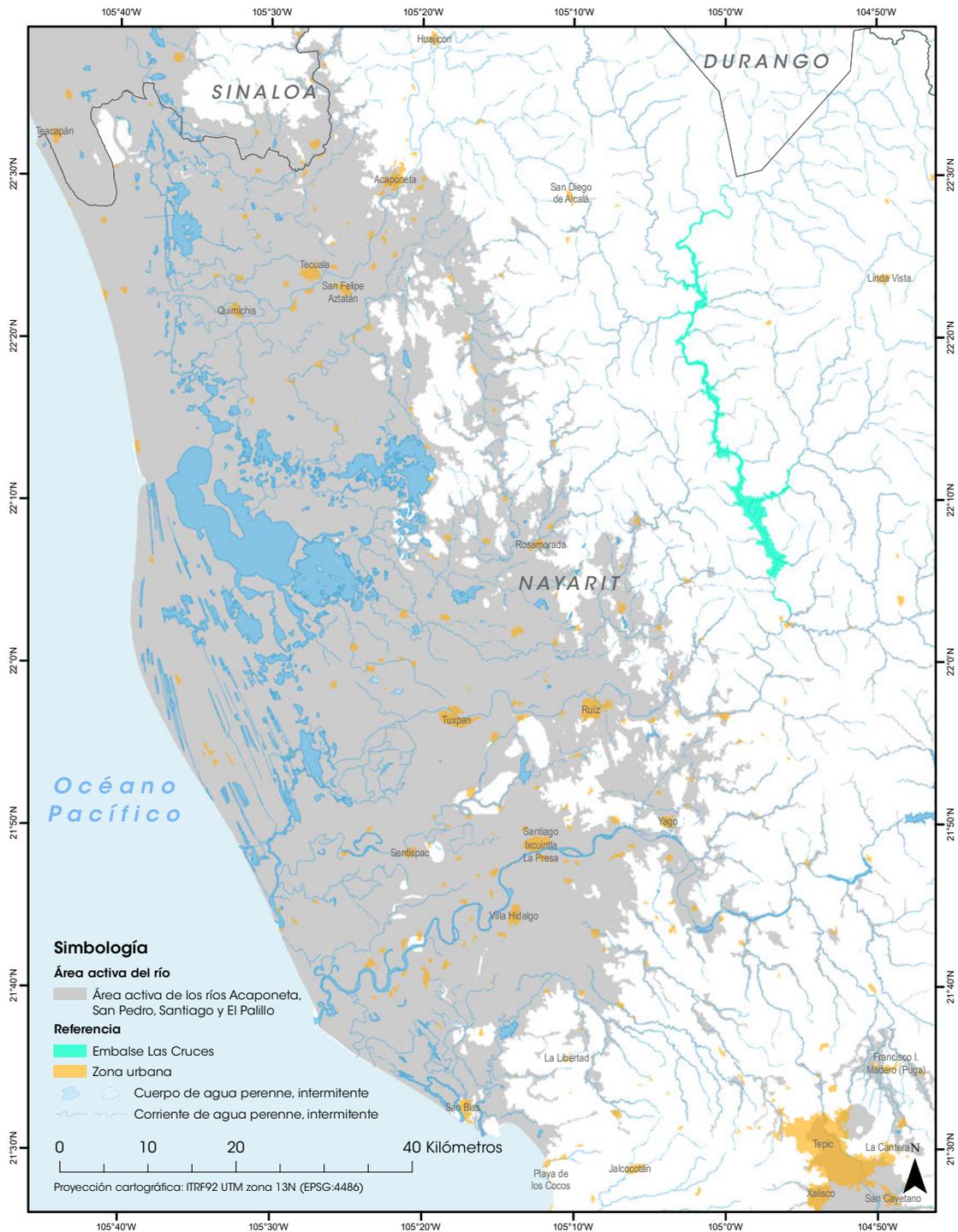


Figura 12. Área activa de los ríos Acaponeta, San Pedro, Santiago y El Palillo (Elaboración propia con base en Barnett, Analie. 2011). *Active River Area (ARA) Three-Stream Class (3SC) Toolbox Documentation*. Estados Unidos de América: *The Nature Conservancy*).

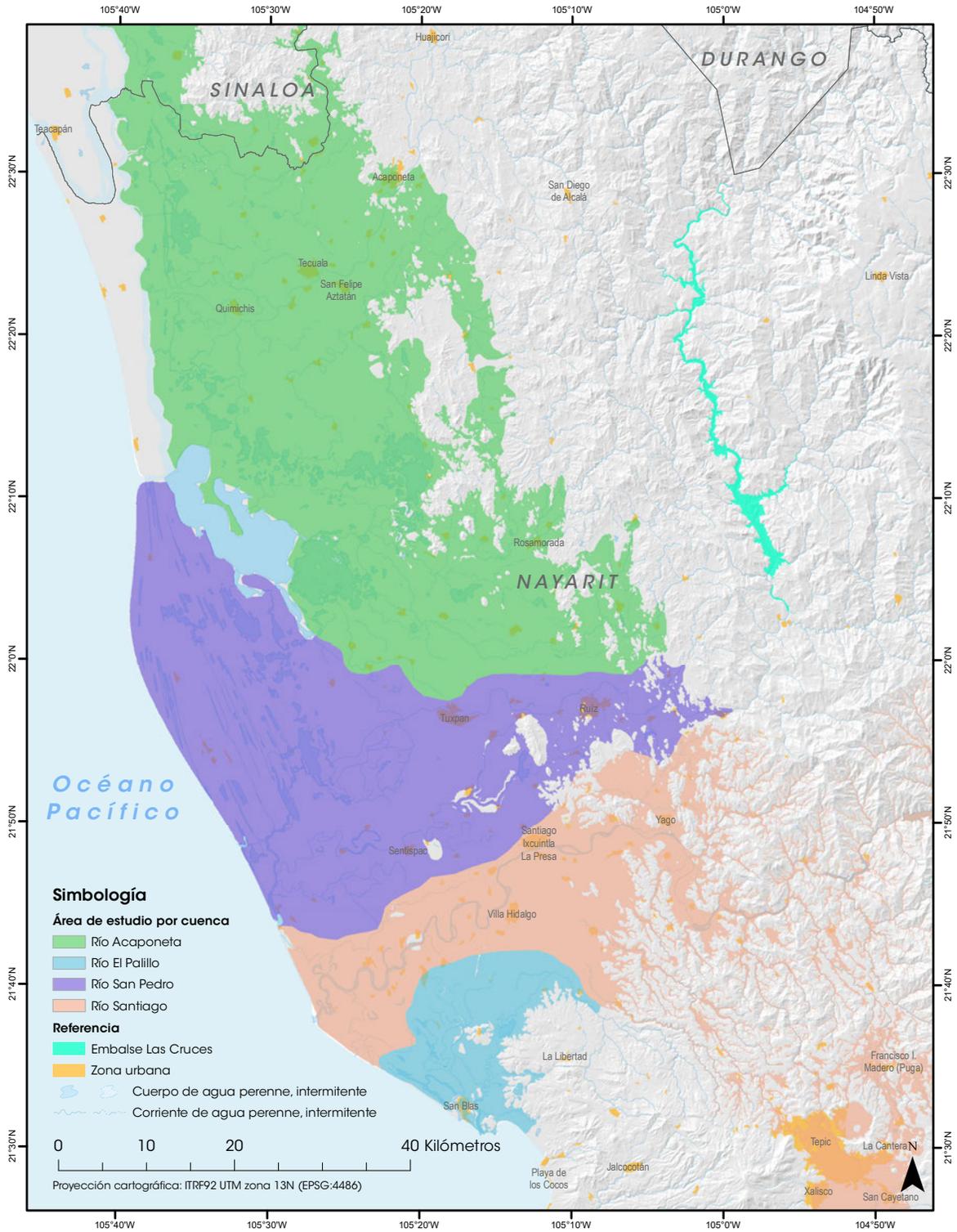


Figura 13. Área de estudio con delimitación de cuencas según mapas de INEGI-INE-CONAGUA (elaboración propia).

## **2.7. Revisión de literatura y generación de información**

Los resultados de este estudio son producto de una amplia revisión de la literatura acerca del área de estudio, el proyecto hidroeléctrico Las Cruces, y temas de interés particular asociados a las valoraciones y el análisis costo-beneficios del proyecto; todas las fuentes consultadas son de libre acceso. El objetivo principal se enfocó en implementar metodologías innovadoras para analizar los datos disponibles, generando información nueva y relevante con una perspectiva económica acerca de los impactos sociales y ambientales que el proyecto podría generar a nivel local y nacional. También se realizaron entrevistas telefónicas a algunos de los actores claves del área con el objetivo de ampliar el conocimiento del área de estudio, el contexto en el que el proyecto ha transcurrido, así como las reacciones dentro del territorio, temas específicos de interés para las valoraciones donde no se encontró suficiente información o se requirió una verificación, entre otros. Existen limitaciones de carácter técnico respecto a la información disponible o que no existe para el área y el sistema hídrico del río San Pedro, lo que restringe la exactitud de los resultados o las herramientas (softwares de modelación) que se pueden utilizar para los análisis.

## **2.8. Cambios Sociales**

### **2.8.1. Empleos**

Aunque la CFE estimó cuatro años para la construcción del proyecto (MIA PH Las Cruces), se tomaron cinco años como un estimado posible del tiempo requerido para la construcción de la presa (integrando posibles retrasos), durante los cuales se crearán 5'000 empleos de forma directa. La distribución de estos empleos no es igual durante la fase de construcción, ya que durante el 1<sup>er</sup> y 5<sup>to</sup> año de construcción solamente el 15% de estos estaría disponible, el máximo de empleos (5'000) se ofertará durante el 2<sup>ndo</sup> y 3<sup>er</sup> año, y el 4<sup>to</sup> año se esperan mantener 2'500 empleos (SUMAR). La mayoría de estos empleos requerirán personal de baja calificación (trabajador para construcción o albañil) y de baja remuneración, hecho que no asegura que la generación de empleos sea en realidad una contribución positiva para la sociedad. En resumen, la construcción del proyecto hidroeléctrico Las Cruces generará 2'800 empleos de tiempo completo (equivalente de tiempo completo - ETC) por año durante los 5 años que tomará construir la presa o, dicho de otra forma, 14'000 empleos ETC durante 5 años.

De estos 5'000 empleos requeridos durante los años pico de construcción (años 2 y 3), SUMAR estimó que 1'500 serían ocupados por trabajadores de otros estados con salarios mínimos más bajos que los acostumbrados en Nayarit (el jornal para una persona en la planicie costera de está entre los 130 y 150 MXN/día; SUMAR, comunicación personal julio, 2017), es decir que aproximadamente el 30% no serán empleos generados para la población local, lo que generará migración de trabajadores de otros estados al área del proyecto.

Además de los empleos directos, CFE también calculó generar otros 5'000 de forma indirecta, relacionados a la prestación de servicios vinculados a la construcción del proyecto; sin embargo, las suposiciones y cálculos para obtener estos 5'000 empleos no son claros. Por esta razón, estas estimaciones no se incluyeron en el escenario de base (valores promedio), y solamente se utilizaron en el análisis de sensibilidad.

El análisis realizado para calcular el beneficio social del proyecto respecto a la generación de empleos varía dependiendo de la referencia utilizada como el salario mínimo que los trabajadores estarían recibiendo. Para el 2017 se determinó que en México el salario mínimo mensual (salario mínimo que recibe un trabajador según la ley de un determinado país) es de 1'680 MXN (80 MXN/día; SEGOB,

2017<sup>1</sup>), este monto se tomó en los escenarios analizados como el valor mínimo generado por los empleos. El valor promedio mensual se tomó de la referencia que se tiene para un trabajador en construcción, el cual asciende a 3'918 MXN/mes (*World Salaries Mexico, 2005*<sup>2</sup>), y el valor máximo que los empleos del proyecto podrían generar se obtuvo de la estimación del salario digno individual (salario mínimo necesario para que un trabajador supla sus necesidades básicas) para México, el cual es de 4'955 MXN/mes<sup>3</sup>.

El beneficio social del proyecto se calculó como el valor económico total de los empleos generados durante los cinco años de construcción de la presa (Cuadro 7). Se tomaron en cuenta 14'000 empleos ETC para los cálculos, ya que la distribución de empleos disponibles no es de 5'000 durante el periodo establecido, pero varía: 15% de empleos el 1<sup>ro</sup> y 5<sup>to</sup> año, 100% el 2<sup>ndo</sup> y el 3<sup>ro</sup>, y 50% durante el 4<sup>to</sup> año. En el modelo no se incluyeron empleos para la operación. El promedio del valor económico total generado por los empleos durante los 5 años es de 658 MDP, con rangos altos de 282 MDP y bajos de 1.5 billones de pesos mexicanos (BDP), respectivamente. El estimado a nivel local es más bajo, ya que se estimó que solo un 70% de los empleos serían ocupados por trabajadores locales. En condiciones más favorables (valores bajos), se incluyeron 5'000 empleos adicionales integrando así los empleos indirectos mencionados anteriormente.

Los valores económicos totales presentados en el análisis deben verse como valores brutos positivos, a los cuales habría que integrar aspectos sociales fundamentales para estimar su contribución real a la sociedad mexicana. Por un lado, los resultados no incluyen la temporalidad de la gran mayoría de estos empleos, y tampoco consideran las necesidades de empleos en la región a largo plazo. Adicionalmente, y dependiendo de las condiciones (p. ej., compensaciones por lesiones y accidentes) y el ambiente laboral (seguridad industrial en ambientes de alto riesgo), los empleos generados por el proyecto podrían causar un valor negativo en la sociedad si la seguridad y salud no hacen parte de las condiciones ofrecidas a los trabajadores, y si los salarios pagados no proveen el monto básico para suplir las necesidades básicas de la gente. En este sentido, la problemática acerca del salario digno es una discusión relevante, ya que posiblemente la mayoría de los trabajadores de baja calificación no reciben el nivel de ingresos utilizado en los cálculos.

---

<sup>1</sup> Secretaría de Gobernación – Diario Oficial de la Federación: Resolución del h. Consejo de representantes de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, 1ro de enero de 2017.

<sup>2</sup> [www.worldsalaries.org/](http://www.worldsalaries.org/)

<sup>3</sup> <http://www.tradingeconomics.com/mexico/wages>

Cuadro 7. Valor social generado por el proyecto a través de los empleos durante los 5 años de construcción de la presa (Fuente: elaboración propia).

Escenarios	No. de trabajos ETC	Salarios mensuales (MXN)	Valor Total (MXN)	Valor Local (MXN)
<b>Valor promedio por empleos generados</b> (salario promedio para el área de construcción, 2005)	14'000	3'918	658'224'000	460'756'800
<b>Valor mínimo por empleos generados</b> (salario mínimo en México, 2017)	14'000	1'680	282'240'000	197'568'000
<b>Valor máximo por empleos generados</b> (salario digno en México 2017)	14,000 empleos directos remunerados con el salario máximo + 14,000 empleos indirectos remunerados con el salario promedio	4'955	1'490'664'000	1'043'464'800

### 2.8.2. Lugares sagrados

En el área sujeta a inundaciones para crear la presa, existen al menos 14 lugares sagrados registrados de gran importancia para las 14'800 personas provenientes de las culturas indígenas Náyeri y Wixárika (AIDA, 2014); la gran mayoría de estos sitios no son del conocimiento público, y solamente los integrantes de las comunidades indígenas que los utilizan, los conocen (NUIWARI, comunicación personal julio 2017). La pérdida de estos sitios sagrados, incluyendo el río San Pedro como un ente divino dentro de su cosmovisión, tendría un impacto significativo en la salud mental, física y emocional, y la permanencia de estas comunidades, para quienes estos sitios constituyen parte de sus raíces culturales y son fundamentales en la vida cotidiana y su relación con la naturaleza (NUIWARI, comunicación personal julio 2017; AIDA, 2014; CFE, 2014).

Valorar económicamente los sitios culturalmente importantes, y en particular aquellos con significancia espiritual (sitios sagrados), es de gran dificultad y su estimación monetaria no logrará capturar el valor real generado para las personas que se benefician de su existencia. Algunos estudios, sin embargo, han llegado a estimar el valor cultural de los sitios sagrados a través de valorar los costos de mitigación por impactos a la salud emocional y física de las comunidades afectadas. El Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD por sus siglas en inglés, 2008) valoró los costos de mitigación para las comunidades indígenas canadienses del área Pimachiowin Aki, a través de estimar los costos de sanadores tradicionales (equivalente a un psicólogo en el área médica) para apoyar a las comunidades en el proceso de pérdida de sus sitios sagrados; esta valoración indicó un equivalente de 31.5 CAD/persona/año en las comunidades afectadas.

La valoración de los sitios sagrados que se inundarían por el proyecto hidroeléctrico Las Cruces se calculó a través de costos de mitigación considerando el apoyo psicológico para las comunidades, como respuesta a la pérdida de sitios sagrados a lo largo del río San Pedro. Los costos por apoyo psicológico se estimaron con base en la tarifa por sesión con profesionales privados en el Distrito Federal; los estimados mínimos, máximos y promedio utilizados en el modelo fueron de 500 MXN, 2'500 MXN y 800 MXN por sesión respectivamente. Datos acerca de los costos por apoyo psicológico en el sector público fueron investigados; sin embargo, se observó que los costos reales no son reportados y los datos agregan costos y subsidios. Aunque los costos de mitigación podrían estar sobrestimados por la diferencia de tarifas del Distrito Federal al estado de Nayarit (estas no se conocen, pero se asume que

serían menores), en los cálculos no se incluyeron gastos adicionales de transporte, alojamiento y alimentación para los psicólogos. Se estimó que el costo promedio de mitigación para proveer apoyo terapéutico a todos los integrantes de las comunidades, una vez por semana durante los 20 años del proyecto, es de 332'8 MXN/persona/año, obteniendo un valor promedio anual de 4.9 MDP y costos totales de 98.5 MDP.

### **2.8.3. Población desplazada**

La construcción de la presa afectará a 66 personas que actualmente viven dentro del área que sería cubierta por el embalse (CFE, 2014). Se asumió que el costo económico social por desplazamiento de la población local incluye costos por compensación, tanto para construcción de nuevas viviendas, como por las pérdidas del sustento económico; adicionalmente, también se incluyeron costos de mitigación por impacto psicológico (Cernea, 1997). El impacto de desplazamiento de la población afectada fue calculado basándose en costos incurridos según los precios del mercado. Los valores promedios totales incluidos en la valoración por desplazamiento integraron 15.2 MDP por construcción de viviendas (66 casas estimadas a 230'000 MXN cada una), 31 MDP como compensación por la pérdida de sustento durante 10 años, y 439'296 MXN por apoyo psicológico semanal para cada una de las 66 personas afectadas durante los 20 años del proyecto (no se incluyeron los cinco años iniciales de construcción), resultando en un costo total de 46.6 MDP.

Otros efectos generados por construcción del proyecto hidroeléctrico y el subsecuente desplazamiento de las poblaciones afectadas por la creación del embalse que no se valoraron en este estudio incluyen: a) cambios en la movilización de estas comunidades y futuro costo por la movilización que impondría el embalse, b) disminución en los pastizales utilizados para la alimentación del ganado de estas comunidades, lo que supone conflictos sociales entre comunidades por uso el uso de tierras, y c) la privatización de algunos recursos naturales que actualmente se consideran de libre acceso a través del río, y con la construcción de la presa dejarían de serlo (SUMAR-efectos sobre comunidades Náyeri).

### **2.8.4. Turismo**

La información acerca del turismo en el área de estudio fue escasa, y las fuentes principales de información se obtuvieron de los documentos acerca del análisis de mercado para el desarrollo del turismo en toda el área de Marismas Nacionales (SUMAR), los datos incluidos en la investigación de valoración de SE de Marismas Nacionales (Akker et al., 2012), y la comunicación personal con el director del ANP Marismas Nacionales (Víctor Hugo Vásquez Morán, director del ANP, julio 2017). La descripción que se hace a continuación es de carácter cualitativo, y los resultados no se incluyeron en el modelo cuantitativo.

El valor del turismo en el ANP existe, pero no es un sector que esté desarrollado. La evidencia indicó que la mayoría de los visitantes que llegan al área costera son de origen local y regional (Tepic, Guadalajara, Mazatlán, así como los municipios más cercanos), y van en busca de actividades de playa y mar. Los visitantes que llegan a los alrededores o entran a la RBMN (entre 30'000 y 40'000 personas al año), también buscan en su mayoría actividades de playa y mar, y aproximadamente la mitad visitan la isla de Mexcaltitlán, importante lugar dentro de la cultura mexicana (comunicación personal con el director de la RBMN, julio 2017). Con base en la información encontrada, no se halló una conexión directa entre el turismo que visita la zona y la biodiversidad del ANP Marismas Nacionales.

El valor existente generado por el turismo que visita el área de Marismas Nacionales, se calculó utilizando la metodología de costos de viaje. Se calculó el costo promedio por persona que un visitante

paga por pasar el día en la isla de Mexcaltitlan, el cual incluyó transporte terrestre, dos viajes en lancha para entrar y salir de la isla, alimentación y bebidas. Solamente se incluyeron aquellos visitantes que llegan a la isla (17'500 personas al año) porque no hay evidencia que los demás entren al ANP; tampoco se encontró infraestructura de servicios enfocada en turismo de naturaleza y/o aventura dentro del ANP que soporte la visitación. El gasto calculado por persona por viaje es de aproximadamente 562 MXN, lo que genera un valor total anual de 8.6 MDP derivado del turismo actual dentro de Marismas Nacionales.

Teniendo en cuenta el potencial de la zona como un destino turístico, e integrando las estimaciones del análisis de mercado para Marismas Nacionales más reciente, se calculó el potencial futuro del valor de turismo para el ANP. Existe un mercado potencial de 2.76 millones de personas de la región con el potencial de visitar el ANP, de acuerdo a las características socioeconómicas descritas por SUMAR. Si el 20% de este mercado visitara el ANP con una disponibilidad a pagar de 985 MXN por persona por viaje (2 días), el valor potencial futuro del turismo podría ser de 543 MDP al año. Esto asumiendo que se desarrolla infraestructura y servicios óptimos para este mercado y compatibles con la conservación del ANP. Posiblemente este valor estaría concentrado geográficamente en los extremos de la reserva, Bocas del Camichín, Escuinapa y Tecpan, debido a que son estos los puntos de entrada a la reserva, y solamente una pequeña porción del valor generado se estaría distribuyendo a otras poblaciones de la cuenca del San Pedro.

Aunque el cambio en los ecosistemas como resultado de la construcción de la presa podría ser significativo, este no puede ser directamente relacionado al impacto en el turismo actual o en un futuro. Actualmente existen otros factores que juegan una mayor relevancia para el turismo (p.ej., seguridad, existencia de infraestructura y servicios, acceso), que la biodiversidad y los ecosistemas presentes en el área. El valor de pérdida del turismo pudiera ser valorado si los impactos de la presa generaran un colapso total de los humedales costeros del área (valor potencial futuro); sin embargo, este escenario es poco probable bajo las condiciones actuales.

## **2.9. Impacto directo del proyecto**

Es esta sección se describen los impactos directos de proyecto. Estos incluyen:

- Territorio cubierto por el embalse y la pérdida de los SE
- Emisiones de gases de efecto invernadero por el embalse
- Emisiones de gases de efecto invernadero por los materiales utilizados en la construcción de la presa (muro de contención)

### **2.9.1. Territorio cubierto por el embalse**

El territorio que estaría cubierto por el embalse, así como el área que sería modificada con la construcción de los accesos al proyecto y la infraestructura, en su mayoría, son áreas cubiertas de bosque. Estas no son utilizadas por las comunidades que viven en la región con propósitos productivos, salvo un apequeña fracción. La inundación que generaría el embalse estaría afectando un área equivalente a 5'493 ha (CFE, 2014) (Cuadro 8). Los bosques sujetos a la inundación pueden ser valorados a través de los SE que proveen como la provisión y filtración de agua, el secuestro de carbono, control de la erosión, generación de materias primas, entre otros. Los SE específicos de estos bosques no fueron evaluados en detalle, y en este caso se realizó una transferencia de valores para estimar su valor basándose en los resultados que De Groet et al., (2012) publicó para bosques, lo que indica un valor de 26'057 MXN/ha, generando una pérdida total de 2.7 BDP.

Cuadro 8. Descripción y área requerida para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces (Fuente: CFE, 2014).

Área total requerida para el Proyecto y descripción	Hectáreas (ha)
Trabajos del Proyecto (polígono 1)	291.42
Accesos al proyecto en el costado izquierdo (polígono 2)	444.75
Accesos al proyecto en el costado derecho (polígono 3)	10.91
Áreas de trabajo de la presa de regímenes (PCR)	158.14
Superficie de la presa	4'506.14
PCR presa	81.9
<b>Área Total</b>	<b>5'493.26</b>

### 2.9.2. Emisiones de gases de efecto invernadero por el embalse

Todos los embalses emiten gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), debido a los procesos de descomposición de materia orgánica proveniente de la vegetación en el fondo del embalse. La cantidad de gases emitidos varía dependiendo de varios factores, incluyendo del clima, área del embalse, etc. Deemer et al., (2016) provee una síntesis global de los embalses, el cual se utilizó para el análisis de Las Cruces. Las emisiones consideradas en este estudio varían entre 47 y 128 gCO<sub>2</sub>-eq/KWh (el valor promedio es de 88), lo cual es un estimado conservador comparado a otras publicaciones las cuales indican 2'000 gCO<sub>2</sub>-eq/KWh para los embalses en regiones tropicales. El valor promedio del precio del carbono usado fue de 78 USD/ton/CO<sub>2</sub>-eq (PwC, 2015).

El valor anual de las emisiones de gases de efecto invernadero por el embalse es de 84.3 MDP, lo que genera un valor total de 1.7 BDP.

### 2.9.3. Emisiones de gases de efecto invernadero derivados de la construcción del proyecto

La construcción de proyectos hidroeléctricos utiliza una gran cantidad de material, en especial concreto; este último emplea cemento, el cual requiere una intensa cantidad de energía para su producción. Cualquier actividad económica, genera un impacto ambiental a través de su ciclo de vida tanto en la producción de materias primas, como en su distribución y procesamiento. Estos impactos ambientales son variados e incluyen desde cambio climático hasta contaminación, consumo y escases de agua, degradación del suelo, contaminación aérea, efectos tóxicos, entre otros. En este caso se consideró el cambio climático a través de las emisiones de GEI resultantes del ciclo de vida de producción de los materiales de construcción de la presa, en especial el concreto.

Las dimensiones de la presa Las Cruces indican 830 m largo por 188 m de altura por 8 m de ancho, es decir que la construcción total de la presa requerirá más de 880'000 m<sup>3</sup> de concreto, lo que representa más de 2 millones de toneladas de concreto. Las emisiones promedio de GEI derivadas del concreto son 61 kgCO<sub>2</sub>-eq/t de concreto, la cual puede variar dependiendo de diferentes parámetros como el uso de energía, proporciones exactas de la mezcla, entre otras (ecoinvent, 2017).

Por lo tanto, las emisiones totales de GEI del proyecto Las Cruces generaría un costo de 160 MDP.

## 2.10. Cambios en el régimen de inundaciones

Los cambios en los regímenes hidrológicos del río fueron proveídos por la CFE; la fluctuación anual natural del río (azul) y la modificada por el funcionamiento de la presa (verde) se muestran en la Figura 14. En el mes de septiembre, mes de mayor volumen durante la época de lluvias, se observa un cambio

de 303 m<sup>3</sup>/s a 170 m<sup>3</sup>/s (CFE, 2014). El modelo hidráulico empleado en este estudio se enfocó en analizar los cambios en el volumen del río durante la época de lluvias, la cual constituye el periodo con la mayor variación en el régimen hidrológico del río.

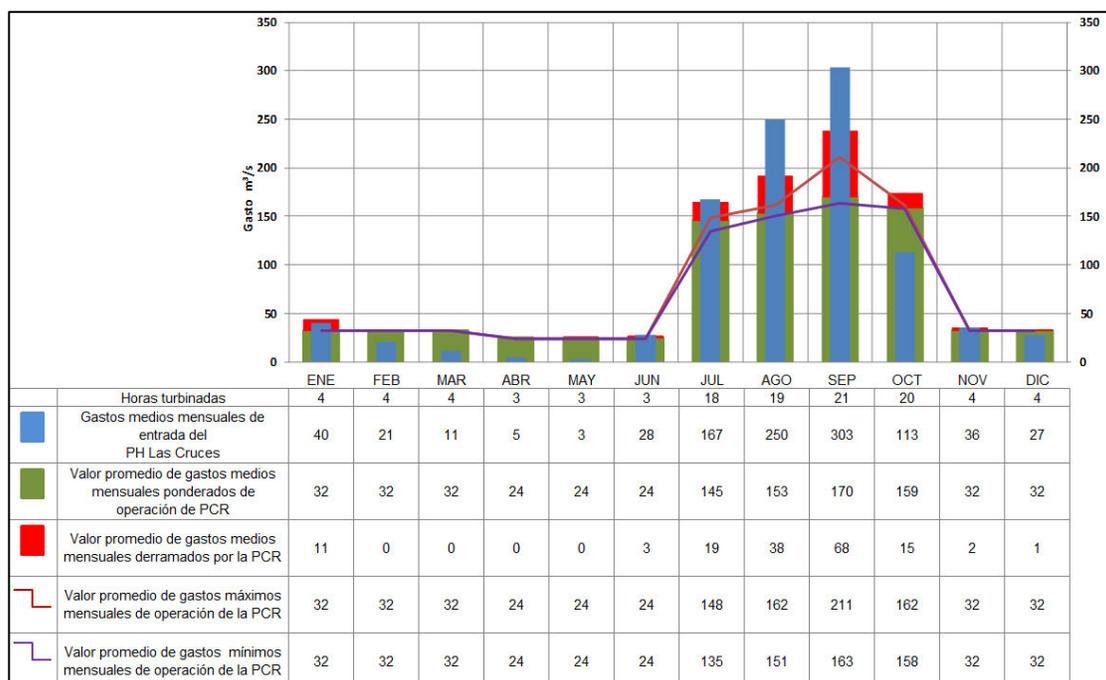


Figura 14. Cambios mensuales esperados en el flujo del río San Pedro generados por la presa Las Cruces (CFE, 2014).

Para poder analizar los potenciales cambios en el régimen de inundaciones en la cuenca del río San Pedro como resultado de las variaciones en el volumen del río derivados de la presa, se utilizó el modelo hidráulico y de inundaciones HEC-RAS (Centro de Ingeniería Hidrológica y Sistema de Análisis de Ríos) desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

La información básica cartográfica para alimentar el modelo (p. ej., mapas de cuencas, topografía, etc.) es la misma que se empleó para delimitar el área de estudio; en este caso se trabajó con la delimitación de cuencas desarrollada por el INEGI. La capa de hidrográfica fue sobrepuesta a al modelo de elevación digital y se asumieron mediciones promedio del ancho y la profundidad de cada uno de los ríos según su orden de magnitud (Cuadro 9), dado que el modelo de elevación digital no integra datos batimétricos.

Cuadro 9. Estimaciones hidrológicas asumidas para el modelo hidráulico. (Fuente: Elaboración propia).

Estimaciones utilizadas para el ancho y la profundidad		
Orden de magnitud de ríos	Ancho (m)	Profundidad (m)
0 - 1	2	1
2 - 3	4	1
4-7	20	2
<b>Canal principal del río</b>	50	2

El modelo hidráulico dimensional integró en el análisis el área de la cuenca desde el punto de construcción de la presa hasta la planicie costera, incluyendo datos acerca de la cobertura de suelo y movimiento del agua como resultado de la fricción con la superficie. Para esto se determinó un

coeficiente de Manning para cada una de las categorías de cobertura vegetal<sup>4</sup>. El modelo fue corrido de forma constante por periodos de cuatro meses a un año, y las simulaciones calcularon los cambios antes y después de la presa para la temporada de lluvia (julio a octubre) y la temporada seca (noviembre a junio). Se emplearon las siguientes variaciones en el flujo de agua teniendo en cuenta el mes de mayor (septiembre) y menor precipitación (mayo) según lo estimado por la CFE: 3 y 24 m<sup>3</sup>/s para la temporada seca sin y con la presa, y 170 y 303 m<sup>3</sup>/s para la temporada de lluvias con y sin la presa. Los datos producidos son el resultado del cómputo de diferentes variables (p. ej., gravedad, fricción, movimiento de masas de agua) y ecuaciones hidráulicas a través del área de estudio. El resultado del modelo indica niveles de agua, delimitación de áreas de inundación, profundidad y velocidad del agua para cualquier momento y ubicación durante la simulación. Un análisis cruzado de los resultados del modelo hidráulico con la información de cobertura de suelo y las delimitaciones municipales, indicaron valores de la extensión de las zonas inundadas (ha) y las profundidades mínimas, máximas y promedio para cada categoría.

Los resultados de la modelación identificaron tanto áreas vulnerables o de potencial inundación (aumento en la inundación), como aquellas zonas que dejaría de ser inundadas (zonas secas) como resultado de los cambios en resultado de los cambios en el flujo del río generados por la presa (

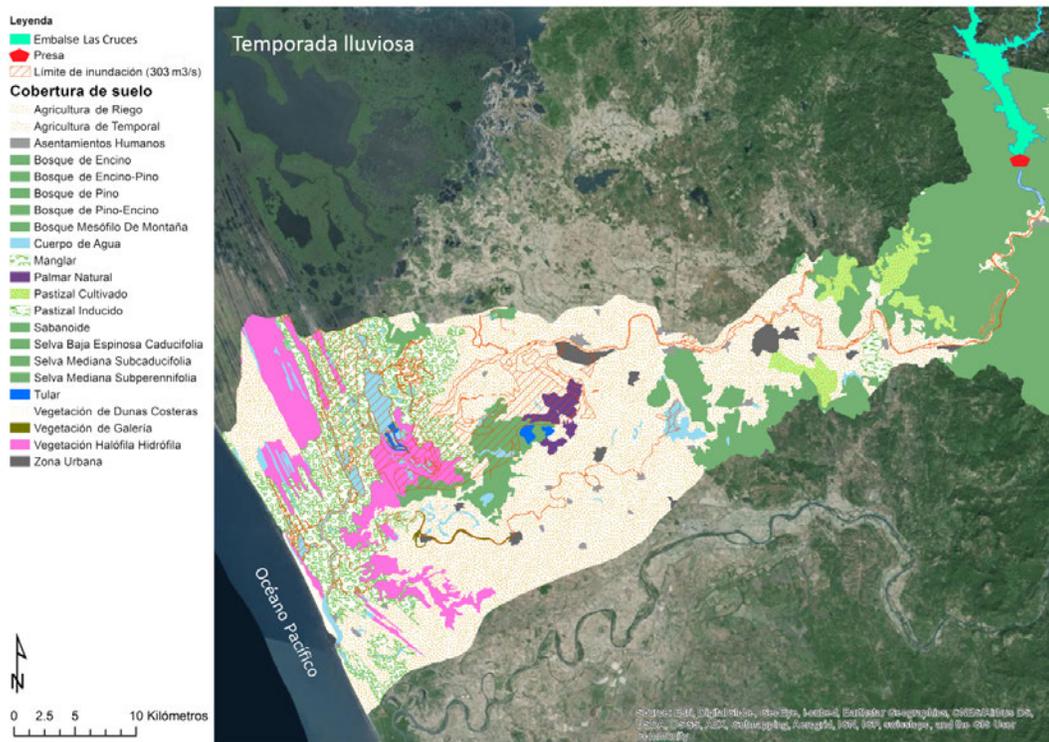


Figura 15 y Figura 16). Debido a las imprecisiones de los datos disponibles para correr el modelo, los resultados no deben considerarse como una simulación exacta de lo que podría ocurrir, pero una aproximación, por eso se enfatiza en su interpretación como áreas vulnerables a cambios. Información batimétrica precisa de la cuenca sería necesaria para generar un escenario más exacto.

<sup>4</sup> Coeficiente de Manning:

[http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8\\_Hydraulic\\_Reference/Mannings\\_n\\_Tables.htm](http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm)

Otro factor importante a tener en cuenta respecto a los resultados presentados es el hecho que el modelo solamente toma en cuenta los efectos en el cambio del flujo del agua debido a la presa; y no incluye efectos por extracción de agua para irrigación u otros usos, así como estructuras de protección contra inundaciones en o alrededor de las zonas urbanas. Debido a los “efectos de borde” entre las distintas capas de información geográfica utilizadas, se observaron áreas de sobre-posición entre zonas propensas a inundaciones y zonas urbanas, especialmente para la planicie costera.

Los resultados del modelo hidráulico indicaron cambios en el régimen de inundaciones con y sin la presa, y se observó que en general, el área de la parte baja de la cuenca que estaría sujeta a inundaciones sería menor posterior a la construcción de la presa. El cambio total de superficie que dejaría de inundarse sería de 4'289 ha. Los resultados cuantitativos del modelo se basan tanto en el tipo de uso de suelo (p.ej., tierras agrícolas, humedales), como en la superficie de tierra de las cuatro municipalidades que comparten la sección de la cuenca del río San Pedro que sufriría cambios en el régimen de inundaciones derivada del proyecto hidroeléctrico.

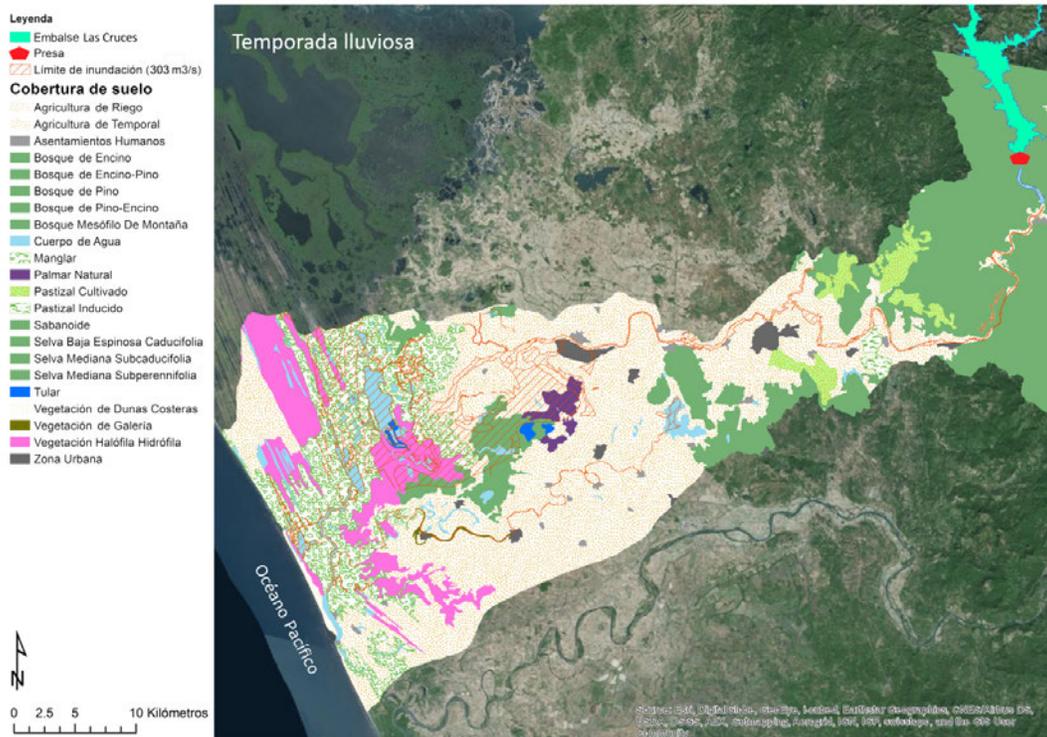


Figura 15. Área baja de la cuenca del río San Pedro sujeta a inundaciones en época lluviosa con regímenes hidrológicos naturales (303 m<sup>3</sup>/s) (Fuente: elaboración propia).

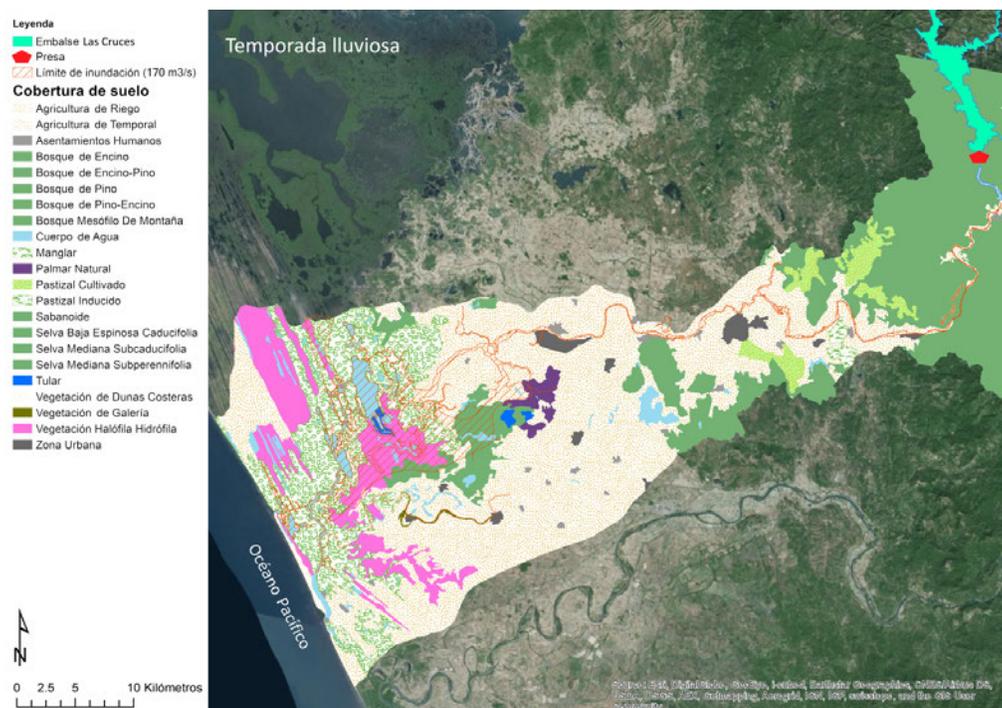


Figura 16. Área baja de la cuenca del río San Pedro sujeta a inundaciones en época lluviosa con regímenes hidrológicos modificados por la presa Las Cruces (170 m<sup>3</sup>/s) (Fuente: elaboración propia).

La reducción en el régimen de inundaciones probablemente transforme los humedales de la parte baja de la cuenca en otro tipo de ecosistemas, modificando así los SE que estos proveen a la sociedad. Es importante notar que los humedales son uno de los ecosistemas más diversos y ricos en términos de producción de SE, es decir que su pérdida o transformación, representa una disminución o pérdida total de sus funciones.

A continuación, se presentan los resultados derivados de los posibles cambios en los SE generados por los humedales y las tierras agrícolas, estimando que 2'257 ha de manglar y 916 ha de tierras cultivadas no serán inundadas con los nuevos regímenes de inundación. La valoración de la agricultura se estimó a través de su productividad y los humedales se valoraron a través de algunos SE:

- Calidad de agua
- Biodiversidad y hábitat
- Secuestro y almacenamiento de carbono
- Pesquerías

### **2.10.1. Calidad de agua**

Los humedales son ecosistemas con gran capacidad para filtrar y mejorar la calidad de agua que pasa a través de ellos. La disminución del área cubierta por humedales que dejaría de estar sujeta a las inundaciones estacionales que el río causa durante la época de lluvias, supone un cambio o transformación del ecosistema a hábitats menos dependientes a las dinámicas de inundación típicas de los manglares, y por ende una disminución en la función de filtración de nutrientes. Es por esto que no se estimó una pérdida total del servicio, pero si una disminución del valor.

La valoración del servicio de filtración de agua en la zona de estudio se realizó a través de la transferencia de valores, ya que la generación de datos primarios acerca de los SE locales estaba fuera del alcance de este estudio.

Con base en los resultados de varios meta-análisis acerca del valor de filtración de nutrientes por humedales y manglares, se utilizaron estimados promedio mínimos y máximos entre los 443 MXN/ha (Brander, 2006) y los 673 MXN/h (Salem, 2012), y se trabajó con un promedio de 558 MXN/ha. Es importante mencionar que estos estimados son un promedio del valor de este servicio ecosistémico, y según el tipo de humedal, su condición y su ubicación, el valor de filtración de nutrientes puede alcanzar los 114'862 MXN/ha (Brander, 2006). El valor del servicio de filtración de nutrientes proveído por ecosistemas de bosque tropical, asumiendo un reemplazo de ecosistema, se estimó en 49 MXN/ha según lo reportado por De Groet et al., (2012).

Integrando los resultados del modelo hidráulico respecto a la extensión de humedales afectados dentro del área de estudio (total de 2'257 ha incluyendo manglares (82.6%), vegetación halófila (16.5%), tulares, y vegetación de galería (<1%)) por los cambios en los regímenes de inundaciones a causa de la presa, se estimó pérdidas anuales de 1.26 MDP y un valor total de 25.2 MDP.

### **2.10.2. Biodiversidad / hábitat**

Los cambios en la biodiversidad y hábitat se estimaron con base en las áreas de humedal de la cuenca baja del río San Pedro que dejarían de ser inundadas por el río a causa de la presa, es decir la reducción en su tamaño. El valor de los humedales relacionado a su función por mantener la biodiversidad se

estimó a través de la transferencia de valores de estudios de meta-análisis, en los cuales se reportaron valores promedio, mínimos y máximos entre los 246 MXN/ha (Salem, 2012) y los 853 MXN/ha (Brander, 2006), con un promedio de 550 MXN/ha. La literatura indica que los valores por este servicio, en casos muy específicos, pueden ascender a más de 1.6 MDP/ha.

Las pérdidas anuales por biodiversidad asociada a los humedales en el área de estudio se estimaron en 1.24 MDP, con un valor total de 24.8 MDP. En este caso no se asumió un reemplazo de ecosistema respecto de su función para mantener la biodiversidad, es decir que tomó como una pérdida total del servicio. No solo existen diferencias marcadas respecto a la biodiversidad que los diferentes ecosistemas mantienen, también hay diferencias en la disponibilidad a pagar de las personas por observar y experimentar diferentes hábitats.

### **2.10.3. Almacenamiento y secuestro de carbono**

La capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono está directamente relacionada al tipo de ecosistema. Se espera que el cambio en el régimen de inundaciones causado por la presa, afecte directamente el ecosistema de humedales de la cuenca baja del río San Pedro, posiblemente reduciendo su extensión. Los cambios se valoraron con base en la reducción de área del humedal indicada por el modelo y el cambio de ecosistema de humedal a algún tipo de bosque tropical, lo que reduce a su vez la función de secuestro y almacenamiento de carbono.

Para las estimaciones de este estudio se integraron en los cálculos los valores promedio de secuestro de carbono reportados para Marismas Nacionales de 8 tC/ha/año Akker et al., (2012) y un valor promedio del almacenamiento de carbono de 600 tC/ha (Bhomia et al., 2016). El cambio de ecosistemas debido a la variación en el régimen de inundaciones representa la diferencia en la función de secuestro y almacenamiento de carbono entre los humedales y el ecosistema de reemplazo. El ecosistema de reemplazo se espera sea un tipo de bosque tropical, para el cual se estimó un valor promedio de 33'540 MXN/ha de acuerdo a la publicación de De Groet et al., (2012; este valor ya incluye el precio del carbono).

Los valores mínimos y máximos de la función del secuestro y almacenamiento de carbono de los humedales en el área de estudio, tomando un precio promedio de carbono de 78 USD/ton/CO<sub>2</sub>-eq (PwC, 2015), se estimaron en 50'274 MXN/ha y 335'162 MXN/ha respectivamente, con un valor promedio de 130'713 MXN/ha. Los resultados con base en el modelo, indicaron pérdidas de 295 MDP al año y una pérdida total de 5.9 BDP.

### **2.10.4. Pesquerías**

Los humedales costeros de la cuenca baja del San Pedro, incluida la RBMN, son utilizados por los pescadores locales dada su riqueza y alta productividad asociada a los manglares. El valor total de las pesquerías de Marismas Nacionales fue estimado en 178.3 MDP (Akker et al., 2012). La potencial pérdida de la función de producción asociada a las pesquerías de Marismas Nacionales y la red de humedales costeros se estimó con base en una relación lineal entre el valor actual de producción y el área total (200'000 ha) que sostiene la producción. En la práctica, es el borde o franja de los manglares más cercana al cuerpo de agua, la que genera el mayor servicio respecto a la productividad de las pesquerías; sin embargo, no fue posible establecer basar los cálculos del modelo en este parámetro.

El valor por hectárea de las pesquerías asociadas a los manglares en la zona de estudio se distribuyó entre 0 MXN/ha y 615'334 MXN/ha (Danemann et al.,). Se asumió que si el efecto de las inundaciones impacta un área del humedal que no tiene conexión con los cuerpos de agua del humedal, el valor de

pérdida es de cero, mientras que el valor máximo corresponde al estudio realizado por Pronatura Noroeste A.C., en el cual el valor de 615'334 MXN/ha se refiere a la productividad asociada a la franja del manglar en contacto directo con los cuerpos de agua marinos/lagunares de la zona. Como valor promedio se tomó el estimado de Akker et al., (2012) de 886 MXN/ha.

Con base en el modelo y las estimaciones realizadas, los cambios en el régimen de inundaciones podrían generar pérdidas anuales para el sector pesquero de 2 MDP y una pérdida total de 40 MDP.

### 2.10.5. Agricultura

El área para agricultura dentro de la parte baja de la cuenca posterior a la ubicación de la presa es de 271'000 ha. La agricultura (de temporal y de riego) es una de las actividades económicas más importantes en la zona de estudio, ya que constituye el sustento para gran parte de la población local. El 15% de la producción nacional de arroz se cultiva en la cuenca del río San Pedro (Fonnor-Cuencas costeras y cambio climático<sup>5</sup>). El régimen de inundaciones del río San Pedro es crucial para la agricultura local, ya que junto con las inundaciones llegan sedimentos, los cuales nutren las tierras manteniendo su productividad.

Los resultados del modelo indicaron una reducción en la extensión de áreas sujetas a inundaciones en tierras dedicadas a la agricultura de 916 ha. Este cálculo es probablemente una subestimación del área real dedicada a la agricultura, dado que las imágenes satelitales muestran una mayor extensión reflejando probablemente la expansión más reciente de estas actividades, sin embargo, los datos disponibles en el sistema de Información geográfico de INEGI, de donde se obtienen la extensión por cultivo y valor económico, muestran una extensión menor.

El Cuadro 10 provee resultados detallados del modelo para la agricultura, adicionalmente se integró el valor productivo de los cultivos incluidos por municipalidad, según los datos publicados por INEGI en 2014. En promedio, el valor productivo de las tierras agrícolas dentro de la cuenca baja del río San Pedro es de 15'930 MXN/ha.

Cuadro 10. Cambios esperados en tierras agrícolas a raíz de los cambios en el régimen de inundaciones (Fuente: elaboración propia).

Municipalidad	Área inundada anterior a la presa (ha)	Área inundada posterior a la presa (ha)	Disminución del área agrícola anteriormente inundada (ha)	Disminución del área agrícola anteriormente inundada (%)	Valor productivo de la tierra (ha)
Rosa Morada	4'874'106	4'664'003	21	17.6%	27'936
Ruíz	4'488'770	3'952'188	54	16.2%	30'888
Santiago Ixcuintla	9'754'874	8'981'538	77	99.1%	41'588
Tuxpan	22'979'323	15'339'019	764	132.0%	27'028
<b>Total/Promedio</b>	<b>42'097'073</b>	<b>32'936'748</b>	<b>916</b>		<b>15'930</b>

Para el análisis se asumió que debido a la reducción de nutrientes y sedimentos acarreados por las inundaciones, la fertilidad del suelo y productividad de la tierra disminuirá en un 10% (mínimo), 50%

<sup>5</sup> Fonnor - Proyecto cuencas costeras y cambio climático: <http://www.c6.org.mx/cuencas-costeras/localizacion-de-las-cuencas/>

(máximo) y 30% (promedio) (criterio de los expertos). Los resultados indican pérdidas anuales en la productividad agrícola de 9.6 MDP y un valor total es de 193 MDP.

### 2.11. Cambio en el régimen de sedimentos

El flujo natural del río San Pedro Mezquital acarrea sedimentos desde las partes más altas de la cuenca, hasta las planicies costeras y su desembocadura en los humedales costeros de Marismas Nacionales. El transporte de sedimentos es de gran importancia para las comunidades, los ecosistemas y las economías locales de la parte baja de la cuenca, ya que mantienen la fertilidad de las tierras agrícolas y la productividad de los ecosistemas donde son depositados o transferidos. Adicionalmente, los sedimentos depositados ayudan a mantener la línea de costa frente al océano Pacífico.

Para comprender la dinámica del transporte de sedimentos en la cuenca del río San Pedro, es importante identificar su origen. Los análisis realizados con el modelo Invest para sedimentos, indican que aproximadamente unas 26,844,900 t/año de sedimentos se generan en la en la parte alta de la cuenca, y son transportados por el río a la parte media y baja. De éstas, el 90.7% (24, 360, 383 t/año) llega a la sección media de la cuenca donde la presa Las Cruces sería construida. Datos proveídos por la CFE indican un volumen de sedimentos en la sección donde estaría ubicada la presa de 19,776,382 t/año (asumiendo una densidad de 1,5 gr/cm<sup>3</sup>). Posterior a la presa, el aporte de sedimentos es mínimo.

Uno de los efectos directos de las presas en las cuencas es la retención de sedimentos. Su eficiencia varía de una presa a otra, y está relacionado con el tamaño del embalse y su forma, la profundidad del embalse y altura de la pared, el volumen de sedimento que entra a los embalses, entre otras. Los cálculos para estimar la eficiencia en la retención de sedimentos de Las Cruces se hicieron con base en la fórmula de Brune (1953):

$$E = 100 \cdot \frac{\frac{C}{l}}{0.012 + 1.02 \cdot \frac{C}{l}}$$

E: eficiencia en la retención: %

C: capacidad de almacenamiento del embalse: 2.3 billones m<sup>3</sup> (Semarnat, 2014)

l: flujo anual del río que llegaría a la presa: 2.6 billones m<sup>3</sup>/año (CFE, 2014)

Los resultados indican una eficiencia en la retención de sedimentos del 96.7%. Utilizando las estimaciones de la CFE, los cálculos indican un volumen de retención de 19,123,761 t/año. La retención de sedimentos por la presa afectará el régimen de sedimentos natural del río, resultando en una pérdida neta de los sedimentos depositados en la línea de costa, ocasionando erosión. Este impacto ha sido ampliamente documentado como consecuencia directa de la retención de sedimentos por los embalses hidroeléctricos alrededor del mundo, Anthony 2015. La presa de Akosombo sobre el río Volta en Ghana ha generado erosión de las playas de Togo y Benin, con un rango de pérdidas entre los 10 y 15 m anuales (McCully, 2001). Uno de los casos más dramáticos han sido los efectos de las presas sobre el río Nilo, en el cual se han documentado perdidas de suelo entre los 125 m y los 175 m por año (Rozengurt y Haydock, 1993). En la cuenca del río Santiago adyacente a al río San Pedro, la construcción de múltiples presas ha ocasionado una pérdida de suelo en la desembocadura del río, donde las estimaciones indican una pérdida de 16 m anuales (Del Castillo, 2011 en Akker et al., 2012).

Marismas Nacionales recibe aproximadamente 3'907'500 t/año de sedimentos (CFE, 2014). De este volumen, un 90.7% provendrá de secciones de la cuenca anteriores a la ubicación de la presa Las Cruces. La reducción de sedimentos que estaría llegando a Marismas nacionales debido a la retención por la

presa es de 3'427'147 t/año. Dada la geografía de la cuenca, el hecho que el río desemboca en el humedal de Marismas y no directamente en el mar, y que anterior a los humedales parte de los sedimentos son depositados a través de la planicie costera, se estimó que solo un 10% del volumen de sedimentos (estimación conservadora) llega a la línea de costa, y la gran mayoría de los sedimentos permanecen dentro de las secciones interiores del humedal. Esta estimación se hizo integrando los datos publicados por Berkun (2012), quien indicó que el aporte promedio de sedimentos hasta la línea de costa, a través de diferentes tipos de ríos, varía entre un 20% y un 50%. La reducción de sedimentos que mantienen la línea de costa en la cuenca del río San Pedro sería de 342'715 t/año. Asumiendo que la cuenca del Río San Pedro influencia las dinámicas de deposición de sedimentos a través de los 26.4 km de costa, y que la línea de costa se considera perdida cuando la sección erosionada alcanza 1 m de profundidad, se estimó una pérdida de área de costa de 22.8 ha/año, es decir 8.6 m/año (tierra adentro).

Para las estimaciones en los capítulos siguientes, se asumió una pérdida total de 22.8ha/año, con valores asociados tanto a tierras agrícolas, como a SE generados por humedales costeros. A través de la costa Pacífica de la cuenca del río San Pedro, dos tercios de su longitud son ocupados por actividades agrícolas, mientras que un tercio está cubierto por humedales costeros. La valoración de la agricultura se estimó a través de su productividad y los humedales se valoraron a través de algunos SE:

- Calidad de agua
- Biodiversidad y hábitat
- Secuestro y almacenamiento de carbono
- Pesquerías
- Protección contra eventos extremos

#### **2.11.1. Calidad de agua**

Para estimar las pérdidas en la función de filtración de nutrientes como consecuencia de la erosión costera, se utilizó el mismo modelo descrito que en la sección 2.10.1, incluyendo las referencias empleadas para determinar los valores mínimos, máximos y promedio. En este caso no se consideró un reemplazo de ecosistema porque habría una pérdida neta en la extensión de los humedales. Teniendo en cuenta que la pérdida de suelo por los cambios en el régimen de sedimentos causado por la presa se estimó en 7.6 ha/año (correspondiente a un tercio de la longitud de la costa), las pérdidas promedio relacionadas al servicio de filtración son de 607 MXN/ha, 4'624 MXN/año, y el valor total es de 971'001 MXN.

#### **2.11.2. Biodiversidad / hábitat**

La estimación de las pérdidas de biodiversidad y hábitat siguen el modelo descrito en la sección 2.10.2, incluyendo las referencias empleadas para determinar los valores mínimos, máximos y promedio. Teniendo en cuenta que la pérdida de suelo por los cambios en el régimen de sedimentos causado por la presa se estimó en 7.6 ha/año (correspondiente a un tercio de la longitud de la costa), las pérdidas promedio relacionadas se calcularon en 263 MXN/ha, 1'999 MXN/año, y un valor total de 419'892 MXN.

#### **2.11.3. Almacenamiento y secuestro de carbono**

Los principios para esta estimación son los mismos que se describieron en la sección 2.10.3, incluyendo las referencias empleadas para determinar los valores mínimos, máximos y promedio. En este caso no se asumió un cambio de ecosistema, sino una pérdida neta de la función. Si la pérdida de suelo por los

cambios en el régimen de sedimentos causado por la presa se estimó en 7.6 ha/año (correspondiente a un tercio de la longitud de la costa), las pérdidas promedio relacionadas al secuestro y almacenamiento de carbono se calcularon en 178'332 MXN/ha, 1358152 MXN/año, y un valor total de 285'211'955 MXN.

#### **2.11.4. Pesquerías**

El modelo para esta estimación es la misma que se describió en la sección 2.10.4, incluyendo las referencias empleadas para determinar los valores mínimos, máximos y promedio. Si la pérdida de suelo por los cambios en el régimen de sedimentos causado por la presa se estimó en 7.6 ha/año (correspondiente a un tercio de la longitud de la costa), las pérdidas promedio para las pesquerías locales serían de 886 MXN/ha, 6748 MXN/año, y un valor total de 1'417'137 MXN.

#### **2.11.5. Agricultura**

Los posibles cambios esperados como resultado de la retención de sedimentos por la presa Las Cruces, se basan en la pérdida neta de suelo que se utiliza actualmente a este tipo de actividades en el municipio de Santiago Ixcuintla. Con pérdidas de suelo de 15.2 ha/año (correspondiente a dos tercios de la longitud de la costa), las pérdidas promedio en el sector agrícola serían de 20'794 MXN/ha, 316'729 MXN/año, y un valor total de 66.5 MDP.

#### **2.11.6. Protección contra eventos climáticos extremos**

La erosión costera no solo genera impactos en los ecosistemas, también aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones locales asentadas en la proximidad de la costa Pacífica de la cuenca del río San Pedro. De acuerdo a los datos de población de INEGI (2010) y visualización del área de costa empleando *Google Earth*, se estimó que unas 500 personas viven en los primeros 500 m de la costa (Figura 17). El análisis realizado considera el costo de eventos climáticos extremos (huracanes) con base en las pérdidas económicas que afectan a la población vulnerable y sus actividades económicas (agricultura y pesca). La valoración se basó en el costo por daños a las propiedades y las pérdidas en la producción agrícola y pesquera, a causa de huracanes con una periodicidad de 5.3 años (Akker et al., 2012). Se asumió que, por cada evento climático, la mitad de las propiedades y actividades productivas sufren pérdidas.

Los costos por daños a propiedades se calcularon asumiendo que por cada tres personas existe una vivienda, es decir que por cada evento climático extremo 166 viviendas sufren daños (costo de reemplazo por unidad: 229'724 MXN/vivienda), para agricultura se tomaron los valores productivos correspondientes al municipio de Santiago Ixcuintla, y para pesquerías se asumió el mismo valor por hectárea que se describió en la sección 2.11.4.

Los resultados del modelo indicaron pérdidas totales de 95.9 MDP a través de 20 años y cuatro huracanes.

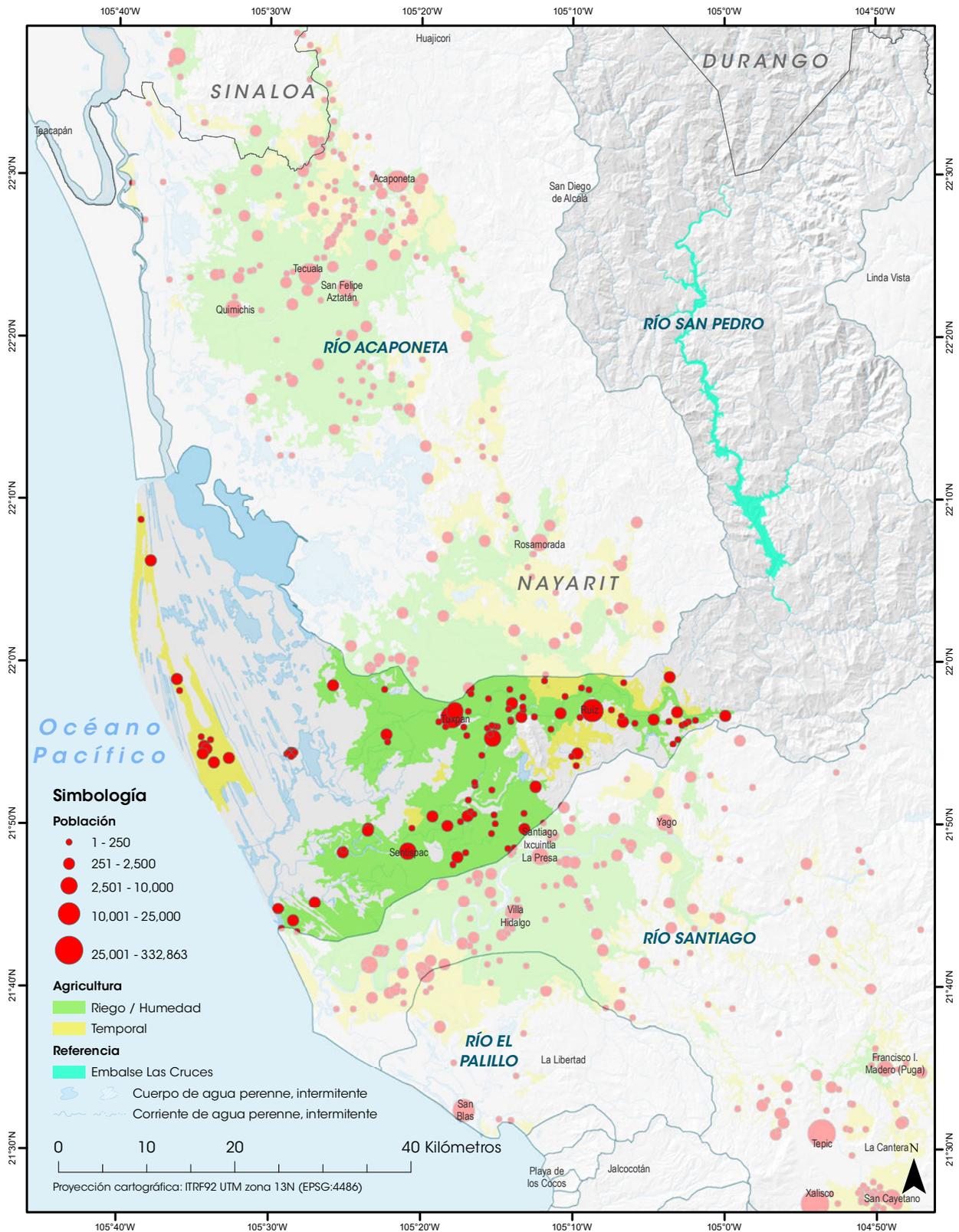


Figura 17. Distribución de población humana y tierras agrícolas de la cuenca baja del río San Pedro.

## 2.12. Análisis financiero

### 2.12.1. Costo del proyecto hidroeléctrico Las Cruces

Los costos de construcción proyectados por la CFE para el proyecto hidroeléctrico Las Cruces son de 10.49 BDP (639.6 MUSD); sin embargo, el sobrecosto de una obra de este tipo es posible. Los estudios más recientes indican que en promedio, el sobrecosto de los proyectos hidroeléctricos es del 70% al 90%<sup>6</sup>. Adicionalmente, los costos de operaciones y mantenimiento están estimados al 2.2% de los costos del capital del proyecto (IRENA, 2012).

Tomando los costos estimados por CFE se estimó que el costo total del proyecto durante el periodo analizado (25 años) es de 11.3 BDP (690 MUSD); si el escenario incluye un aumento de presupuesto del 70% el costo total ascendería a 19.3 BDP (1.17 billones USD)

### 2.12.2. Valor de la electricidad y costo social neto del proyecto

La producción de energía a través de la construcción de presas hidroeléctricas juega un papel importante en la regulación del suministro de electricidad, especialmente durante las horas pico de consumo, debido a la rápida generación de electricidad que los embalses hidroeléctricos proveen comparado a otras fuentes de generación como centrales termoeléctricas y plantas nucleares. Debido a su capacidad de generación de corto plazo, las presas hidroeléctricas tienen funciones ligeramente diferentes a otras unidades de producción. En el caso de la Las Cruces, la producción anual de electricidad sería de aproximadamente 751 GWh.

Para calcular los ingresos del proyecto se tomaron como referencia los precios de la producción de electricidad en el país durante el primer semestre de 2016, los cuales variaron entre 787.6 MXN/MWh y 984.5 MXN/MWh<sup>7</sup>. Si parte de la energía generada por la presa estaría supliendo la demanda por electricidad durante las horas pico, se asumió para las estimaciones del estudio, que su precio de venta estaría en el rango más alto para la región de Nayarit (935.3 MXN/MWh). Los ingresos que el proyecto genere se multiplicaron por 16.6 años, ya que, aunque el horizonte de tiempo analizado para el proyecto es de 25 años, durante los primeros 8.4 años la presa no estaría en capacidad de producir electricidad, por ende, no se generarían ingresos. Como se ha mencionado anteriormente, CFE ha estimado que los primeros 5 años del proyecto serán dedicados a la construcción de la presa; sin embargo, el tiempo mínimo necesario para llenar el embalse es de 3,4 años. Este periodo se calculó con base en el volumen de agua disponible, adicional al que la presa estaría liberando durante la época de lluvias en un año normal de operación (por encima de los 662 hm<sup>3</sup>/año).

La perspectiva financiera descrita anteriormente no es la misma para 2017, dados los recientes cambios en el sector eléctrico mexicano el cual, a través de la liberación del mercado, ha resultado en una disminución de los precios. Los contratos más recientes para suplir la demanda de electricidad durante los siguientes 15 años fueron subastados en septiembre de 2016, este proceso tuvo una participación más amplia de proponentes con precios promedio de 541.5 MXN/MWh, es decir un 30% más bajos que los observados en el primer semestre del año. Los ingresos esperados de Las Cruces negociados con el valor de venta promedio más reciente, podrían disminuir más en el futuro con los cambios recientes en

---

<sup>6</sup> <https://www.sbs.ox.ac.uk/school/news/press-office/press-releases/large-hydro-electric-dams-unviable-and-seriously-damaging-emerging-economies> and Sovacool et al. 2014

<sup>7</sup> US Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26932#>

la legislación. Utilizando este promedio de venta, los ingresos totales de la hidroeléctrica (en 16.6 años) se reducirían a 6.7 BDP, cantidad menor al costo proyectado de inversión según la CFE (10.49 BDP). El umbral de rentabilidad (equilibrio económico) para Las Cruces, incluyendo la inversión del capital y costos de operación y mantenimiento, necesitará un precio de venta de la electricidad de 909 MXN/MWh<sup>8</sup>. Adicionalmente, se espera que los costos de construcción de la presa sobrepasen el costo inicialmente indicado. Los estudios más recientes indican que en promedio, el sobrecosto de los proyectos hidroeléctricos es de un 70% a un 90%<sup>9</sup>.

Para el análisis financiero en condiciones promedio se tomaron como base los costos de construcción del proyecto proyectados por la CFE (10.49 BDP) y el precio para la electricidad más reciente (542 MXN/MWh); se usó el mismo costo de construcción y la tarifa más alta para la región de Nayarit (935 MXN/MWh) como estimados mínimos, y los estimados con valores máximos se aumentó el costo de construcción del proyecto a 17.8 BDP (sobrecosto del 70%), con la tarifa más reciente (542 MXN/MWh). El costo de construcción proyectado fue dividido durante los primeros cinco años y se calculó un 2% anual del costo total del proyecto como costos de funcionamiento.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Resultados generales

El análisis costo-beneficio del proyecto indicó un costo social neto para la sociedad mexicana de 15.3 BDP en un horizonte de tiempo de 25 años. Los resultados detallados se presentan en el Cuadro 11 (primera columna, estimados promedio) y la Figura 18, donde también se incluyeron los resultados del análisis con los diferentes estimados (valores bajos y altos) para cada uno de los parámetros que se integraron en el análisis de sensibilidad. Las externalidades se distribuyeron a través de: 1) los impactos directos en las comunidades locales a través de los beneficios (generación de empleos) y los costos por desplazamiento y pérdida de sitios sagrados, 2) los impactos derivados de la construcción del proyecto en la cuenca (huella de carbono de la construcción, emisiones de GEI generadas por el embalse y pérdida de los SE por ecosistemas terrestres inundados), 3) los cambios en el régimen de inundaciones y 4) en el régimen de sedimentos, y 5) los resultados financieros.

---

<sup>8</sup> Costos estimados del Proyecto según CFE: 639.6 MUSD (10.49 BDP); costos de operaciones y mantenimiento estimados al 2.2% de los costos del capital del proyecto según IRENA, 2012.

<sup>9</sup> <https://www.sbs.ox.ac.uk/school/news/press-office/press-releases/large-hydro-electric-dams-unviable-and-seriously-damaging-emerging-economies> and Sovacool et al. 2014

Cuadro 11. Análisis del costo social del proyecto hidroeléctrico Las Cruces (Fuente: elaboración propia).

		Estimados promedio	Estimados mínimos	Estimados máximos	Estimados mínimos (cambio relativo del valor promedio)	Estimados máximos (cambio relativo del valor promedio)
		Millones de MXN	Millones de MXN	Millones de MXN	%	%
<b>Impactos sociales</b>	Empleos	658.2	1,490.7	282.2	226%	43%
	Sitios sagrados	(98.5)	(61.6)	(307.8)	63%	313%
	Población desplazada	(46.6)	(46.5)	(47.5)	100%	102%
<b>Impacto del proyecto</b>	Territorio cubierto por el proyecto	(2,719.7)	(1,370.1)	(3,425.3)	50%	126%
	Emisiones GEI por el embalse	(1,686.8)	(350.7)	(6,312.1)	21%	374%
	Huella de carbono de la construcción del proyecto	(160.3)	(61.6)	(411.0)	38%	256%
<b>Régimen de inundaciones</b>	Calidad de agua	(25.2)	(20.0)	(30.4)	79%	121%
	Biodiversidad/hábitat	(24.8)	(11.1)	(38.5)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(5,901.3)	(2,269.7)	(15,131.5)	38%	256%
	Pesquerías	(40.0)	-	(27,780.3)	-	69444%
	Agricultura	(193.0)	(64.3)	(321.7)	33%	167%
<b>Régimen de sedimentos</b>	Calidad de agua	(1.0)	(0.8)	(1.2)	81%	119%
	Biodiversidad/hábitat	(0.9)	(0.4)	(1.4)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(285.2)	(109.7)	(731.3)	38%	256%
	Pesquerías	(1.4)	-	(984.1)	-	69444%
	Agricultura	(66.5)	(66.5)	(66.5)	100%	100%
	Protección a eventos extremos	(95.9)	(95.9)	(95.9)	100%	100%
<b>Resultados financieros</b>	Resultados netos	(4,584.2)	325.4	(12,518.5)	-7%	273%

<b>Valor neto en millones de MXN</b>	<b>(15,273.0)</b>
--------------------------------------	-------------------

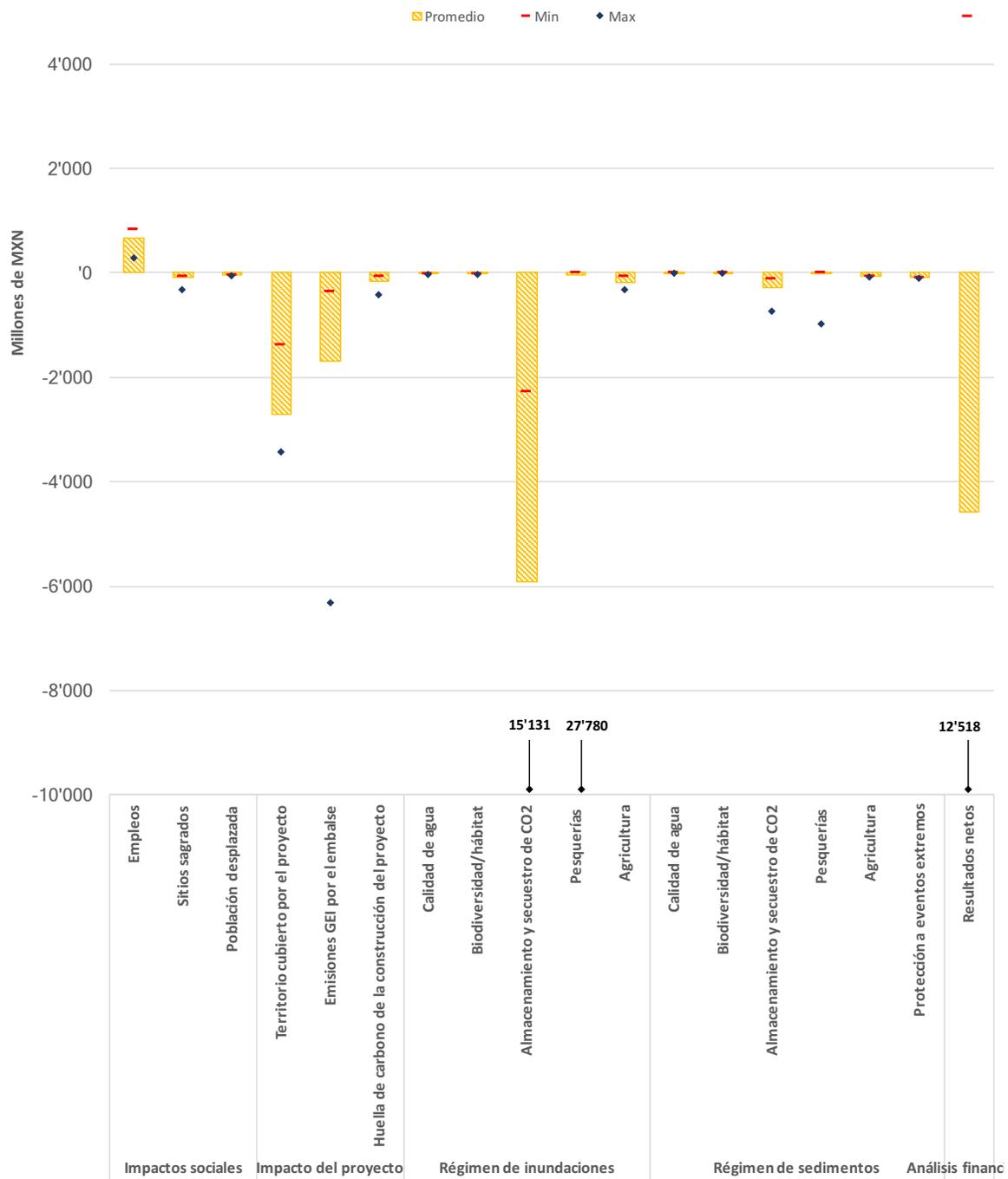


Figura 18. Costo social del proyecto hidroeléctrico Las Cruces (Fuente: elaboración propia).

Los factores de fondo más significativos del análisis por los beneficios y costos que representan para la sociedad incluyen:

- 1) la generación de empleos (658.2 MDP)
- 2) la pérdida de secuestro y almacenamiento de carbono derivada de la pérdida de humedales y manglares originados por los cambios en el régimen de inundaciones del río San Pedro en la planicie costera de la cuenca (5.9 BDP)
- 3) las emisiones de GEI generadas por el embalse (1.7 BDP)
- 4) la pérdida de los SE proveídos por los bosques que serían inundados por el embalse (2.7 BDP)
- 5) las pérdidas económicas derivadas del desequilibrio entre los costos y los ingresos financieros generados (4.6 BDP).

Solamente la generación de empleos para la construcción del proyecto durante un periodo de cinco años representa un beneficio social (658.2 MDP). La variabilidad en la magnitud de los beneficios proveídos a la sociedad cambiará con base en el monto salarial que se pague a los trabajadores, lo cual dependerá de la CFE.

La reducción de humedales en la parte baja de la cuenca del río San Pedro como consecuencia de los cambios en los regímenes de inundaciones posteriores a la construcción del proyecto hidroeléctrico, generan un alto costo social a través de las pérdidas en la capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono. Los cambios se valoraron con base en la reducción de área del humedal indicada por el modelo (2'257 ha) y el cambio potencial de un ecosistema de humedal a algún tipo de bosque tropical, reduciendo la función de secuestro y almacenamiento de carbono. Adicionalmente, se integró el costo social del carbono por tonelada de CO<sub>2</sub>.

La creación del embalse Las Cruces generaría altos costos a la sociedad por emisión de GEI (carbono y metano principalmente), debido a la descomposición de la materia orgánica proveniente de los bosques y ecosistemas terrestres inundados, así como la descomposición de la materia orgánica transportada por el río hasta el dique de la represa. A este proceso de descomposición y las emisiones producidas (76.5 gCO<sub>2</sub>-eq/KWh) hay que integrar el tamaño del área afectada por la inundación del embalse (4'588 ha) y el costo social del carbono empleado en el modelo (78 USD/t/CO<sub>2</sub>-eq). La variabilidad del costo social que las emisiones del embalse generan es amplio, y esta no solo está influenciado por el costo social del carbono (rangos entre los 30 y los 200 USD/t/CO<sub>2</sub>-eq), también es afectado por el volumen de emisiones (rangos entre 40 y 112 gCO<sub>2</sub>-eq/KWh). La cantidad de gases emitidos cambia según el clima y aumentan en embalses tropicales, donde otros indican 2'000 gCO<sub>2</sub>-eq/KWh para embalses en regiones con condiciones similares.

La construcción del proyecto hidroeléctrico conlleva a la destrucción de 5'493 ha de bosques, y con ello, a la pérdida de los SE generados por estos hábitats terrestres. El costo social de esta pérdida se estimó de 2.7 BDP con base en resultados publicados por De Groet et al., (2012), los cuales integran servicios de provisión, regulación y hábitat, principalmente.

Los resultados del análisis financiero indican que bajo el contexto actual (precio de venta de la electricidad, 2017: 542 MXN/MWh), el proyecto hidroeléctrico Las Cruces no es financieramente rentable, ya que los ingresos totales generados (16.6 años) sumarían un total de 6.75 BDP, lo está por debajo de los costos proyectados por la CFE (10.49 BDP), generando un costo social de 4.6 BDP. Si se considera un sobre costo del 70% en su construcción al monto inicialmente previsto, y se mantiene el precio de venta, el costo social aumenta a 11 BDP; en este caso el precio de venta tendría que aumentar a 1'546 MXN/MWh para alcanzar el umbral de rentabilidad. Este es un precio imposible, ya que el mercado eléctrico no permitirá precios de venta más altos, a menos que sea altamente subsidiado por el

gobierno mexicano (sin importar el mecanismo), lo cual representaría un costo negativo para la sociedad.

Solamente bajo las mejores condiciones, es decir que no hubiera sobre costos y con una tarifa más alta (precio de venta de la electricidad, 2016: 935 MXN/MWh), los ingresos totales del proyecto podrían alcanzar los 11.6 BDP, en cuyo caso los ingresos netos por Las Cruces sobrepasarían 1.1 BDP.

Importante a considerar en el análisis es el potencial de producción del proyecto hidroeléctrico, el cuál para el modelo presentado, se basó en un potencial de producción constante en el futuro, que posiblemente no ocurra, por dos razones. Por un lado, el modelo desarrollado tiene un horizonte de tiempo de 25 años, a través del cual la presa podría perder aproximadamente el 10% de su capacidad debido a la retención de sedimentos. Por otro lado, no se están incluyendo posibles cambios en la precipitación y disponibilidad de agua. Dada la voluntad del gobierno en reducir los subsidios, el proyecto hidroeléctrico Las Cruces no parece resultar rentable.

Finalmente, en este momento no hay evidencia que la electricidad producida impactará el mercado local, respecto a los precios y el acceso a la energía eléctrica en Nayarit. El objetivo del sector eléctrico mexicano es reducir los precios de la electricidad lo cual, sin subsidios adicionales, no parece favorable para el proyecto Las Cruces. Los subsidios en este caso se consideran como un impacto negativo para la sociedad mexicana, dado que estos representan un gasto público adicional, usualmente cubierto por la deuda externa nacional.

### **3.2. Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad se muestra en el Cuadro 11 y la Figura 18, el cual indica cómo cambian los resultados obtenidos de acuerdo a la variabilidad de los parámetros claves incluidos en el modelo. A continuación, se discuten aquellos parámetros que presentaron mayor variabilidad.

En el caso de los empleos generados por el proyecto y la magnitud de los beneficios que estos pudieran generar a la sociedad, es claro que dependerá de los salarios que se pague a los trabajadores; en este caso las diferencias más significativas son el monto del salario digno (4'955 MXN/mes) vs. el salario mínimo para México (1'680 MXN/mes), y el número de los empleos que se generen (14'000 ETC vs. 28,000 ETC en caso de generarse 5'000 empleos indirectos).

El cambio en los SE proveídos por ecosistemas terrestres de la cuenca que serían modificados y perdidos por la construcción del proyecto varía dependiendo de los valores utilizados en cada estimación, los cuales tienen un rango entre los 13'128 MXN/ha/año (valor mínimo) y los 232,820 MXN/ha/año (valor máximo), y dependen del autor de cada uno de los estudios utilizados.

El parámetro del costo social del carbono es importante de tener presente, ya que los valores promedio (1'280 MXN/tCO<sub>2</sub>e), mínimo (640 MXN/tCO<sub>2</sub>e) y máximo (3'282 MXN/tCO<sub>2</sub>e) tomados como referencia varían ampliamente según la fuente, y a su vez, afectan a varios de los SE valorados como las emisiones GEI generadas por el embalse, por la construcción del proyecto y la disminución del almacenamiento y secuestro de carbono por pérdida de humedales. La valoración del costo social de las emisiones de GEI producidas por el embalse varía según la cantidad de materia orgánica sujeta a procesos de descomposición y su tasa de degradación; estos datos difieren de un autor a otro y de las condiciones en las cuales se hicieron las mediciones (p. ej., latitud, clima, entre otras). Los rangos empleados para carbono van de 386 mgC/m<sup>2</sup>/día a 660 mgC/m<sup>2</sup>/día y de 24 mgC/m<sup>2</sup>/día hasta 112 mgC/m<sup>2</sup>/día para metano. El costo social del carbono es uno de los parámetros más significativos que contribuyen a los impactos generados por el embalse. En condiciones promedio este parámetro genera el mayor impacto negativo, y utilizando valores máximos, este se convierte en el segundo factor más influyente.

En el caso de las pesquerías, las diferencias observadas responden principalmente a las metodologías empleadas por los autores tomados como referencia, y por ende, los estimados del valor que los manglares generan como áreas de crianza. La variabilidad de este parámetro va de cero, donde se asumió que la disminución de los humedales derivada de los cambios en los regímenes de inundaciones de Las Cruces no tendría efecto alguno sobre la productividad de los recursos pesqueros, hasta los 615'375 MXN/ha/año. Los 886 MXN/ha/año tomados como un valor promedio para valorar las pesquerías se calcularon con base en el valor de la productividad de las pesquerías locales sobre el área de los humedales (Akker et al., 2012), mientras que Pronatura Noroeste A.C., estimó 615'375 MXN/ha/año, derivado utilizar en los cálculos la franja de manglar en contacto directo con los cuerpos de agua salobres. Al utilizar los estimados máximos, las pesquerías se convierten en el contribuyente número uno de los impactos generados por el embalse.

La variabilidad de los resultados netos responde específicamente a dos parámetros: 1) el costo estimado del proyecto, el cual tuvo un rango de 10.49 BDP estimados por la CFE y 17.8 BDP si se asume un 70% de sobrecostos según los análisis de publicaciones recientes donde analizan los costos reales de la construcción de hidroeléctricas en el mundo, y 2) y el precio de venta de la electricidad, el cual varió entre 542 MXN/MWh (estimado de 2017 posterior a la liberalización del mercado de energía eléctrica para México) y 935 MXN/MWh (estimado para la segundo semestre de 2016). Al emplear estimados máximos, los resultados financieros netos permanecieron en tercer lugar como uno de los parámetros más influyentes en la generación de impactos por el embalse, sin embargo, se convierte en un valor positivo cuando se usan los estimados mínimos.

### 3.3. Contextualización de los resultados obtenidos

Las Políticas de la Estrategia Nacional de Energía de México y sus compromisos internacionales ratificados en el Acuerdo de París (21 de septiembre de 2016), integra inversiones en la diversificación de su matriz eléctrica, aumentando la contribución de las fuentes de energía renovable (la fracción de fuentes de energía renovables de la matriz eléctrica nacional es actualmente del 15%), logrando así la disminución en sus emisiones de carbono. Aunque la meta propuesta por México es reducir emisiones de GEI a un 22% por debajo de la línea base para el año 2030, estos objetivos no son consistentes con limitar el calentamiento planetario a 2°C<sup>10</sup>.

La construcción de proyectos hidroeléctricos es uno de los mecanismos propuestos por el gobierno mexicano para reducir las emisiones del país, y entre ellos está la represa Las Cruces, la cual podría evitar la emisión de 304,807 tCO<sub>2</sub>eq anuales según los cálculos de la CFE (CFE, 2014). Los resultados del presente estudio indican que la reducción de emisiones sería en realidad de 51,657 tCO<sub>2</sub>eq al año. En la Figura 19 se hace una comparación de las emisiones de gCO<sub>2</sub>-eq/kWh emitidas por diferentes fuentes de producción de energía en México incluyendo el proyecto hidroeléctrico Las Cruces, y se integraron los rangos mínimos, máximos y promedio para sus emisiones empleados en el modelo. Las emisiones del proyecto hidroeléctrico Las Cruces (503 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh) superan a las del gas natural combinado (428 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh), y están por debajo a las generadas por la producción de la matriz de energía eléctrica del país (572 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh).

---

<sup>10</sup> <http://climateactiontracker.org/countries/mexico.html>, 2017

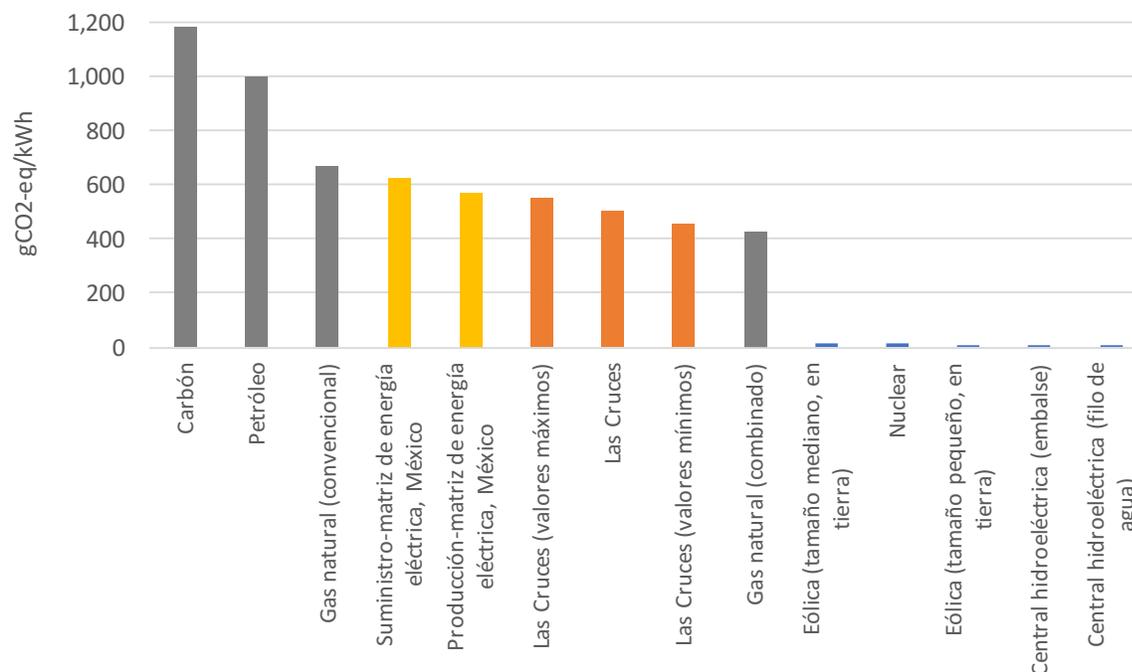


Figura 19. Comparación de emisiones GEI por diferentes fuentes de producción de electricidad en México (Fuente: ecoinvent database, 2017)

Además de analizar los efectos de las emisiones de GEI, se realizó una segunda comparación del proyecto hidroeléctrico Las Cruces (Figura 20). No se cuenta con información financiera ni acerca de la generación de empleos para los ejemplos comparados con Las Cruces, de manera que estos aspectos no fueron incluidos en el análisis presentado. Los resultados de las diferentes fuentes están expresados en USD por kWh.

Los resultados indicaron que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces (valores promedio, 0.06 USD/kWh) genera mayores externalidades que otras fuentes renovables para generar electricidad; y se ubica por debajo del gas natural y la producción de la matriz energética de México (0.17 USD/kWh). Con base en esta comparación gráfica, se puede considerar positivo pasar de fuentes de electricidad no renovables a la generación de electricidad por hidroeléctricas. Sin embargo, también se concluye que las posibles externalidades del proyecto hidroeléctrico Las Cruces pueden ser mucho mayores que otras fuentes renovables para la generación de electricidad, al punto que no puede ser etiquetado como “renovable”.

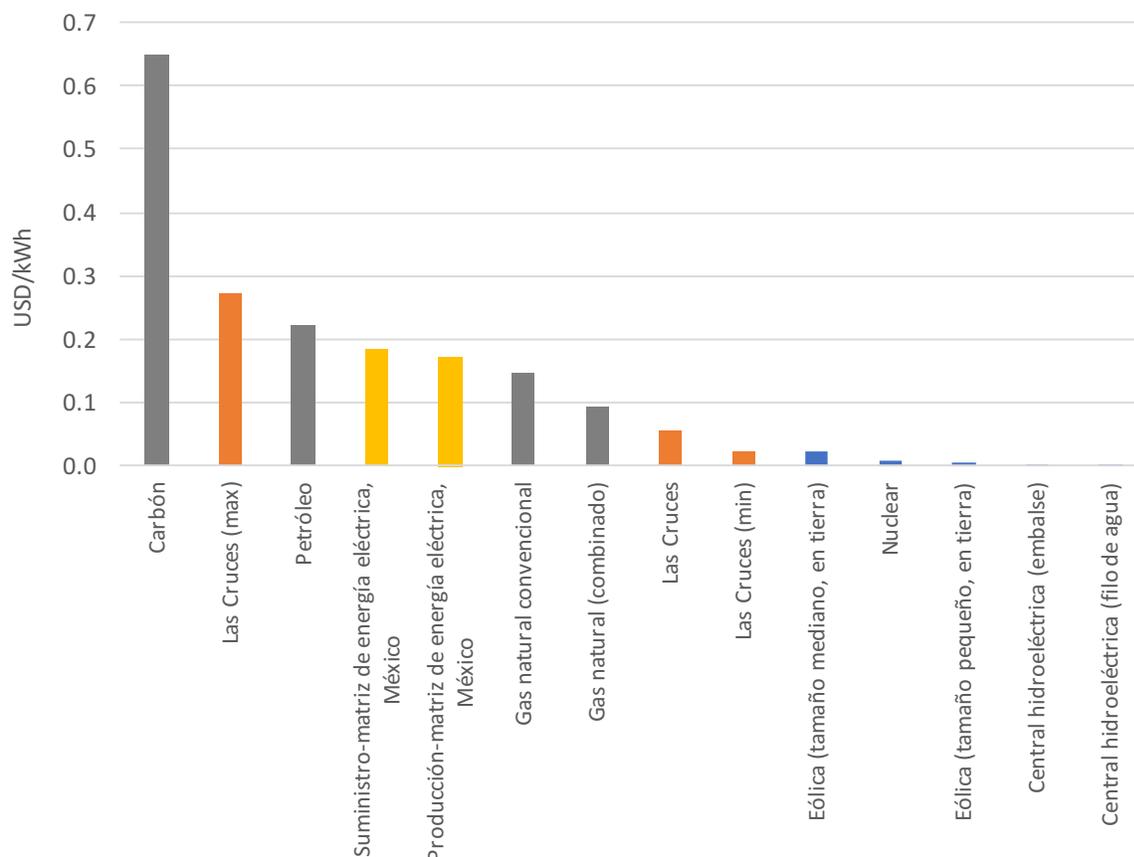


Figura 20. Comparación de las externalidades generadas por diferentes fuentes de producción de electricidad en México (Fuentes: ecoinvent data base 2017; Valuing Nature database, 2017).

#### 4. Conclusiones

Este estudio presenta un marco innovador para evaluar de manera compresiva las externalidades generados por las obras de infraestructura pública como lo son las hidroeléctricas, y así informar la toma de decisiones a diferentes niveles. Las metodologías empleadas son hoy en día unas de las más completas, e incluyen los últimos avances en el campo de la contabilidad del capital social y natural utilizado por el sector privado. El modelo desarrollado para analizar las vías de impacto del proyecto, mostró diversos resultados que incluyen externalidades positivas y negativas.

El análisis costo-beneficio del proyecto indicó un costo social neto para la sociedad mexicana de 15.3 BDP en un horizonte de tiempo de 25 años. Los efectos se analizaron cuantificando los cambios generados por la construcción del proyecto sobre en el capital natural y social, los cuales incluyeron impactos directos por la construcción del proyecto y sobre las comunidades locales (positivos y negativos), así como los impactos en los SE a consecuencia de cambios en los regímenes de inundaciones y sedimentos del río San Pedro en la parte baja de la cuenca posterior a la construcción del embalse. Los costos (15.9 BDP) son mayores a los beneficios (658.2 MDP) y están influenciados mayormente por la disminución del secuestro y almacenamiento de carbono por la pérdida de humedales, derivada de los cambios en el régimen de inundaciones, emisiones GEI generados por el embalse, y pérdida de SE por conversión y destrucción de ecosistemas terrestres a través de la

construcción del proyecto (p.ej., inundación causada por el embalse). Los impactos positivos incluyen la generación de empleos para llevar a cabo la construcción del proyecto, pero solo bajo las mejores condiciones para el proyecto, y beneficios financieros generados por el precio de venta de la electricidad al valor estimado más alto. Sin embargo, dadas las condiciones actuales del mercado eléctrico en el país, este escenario se considera poco probable.

El alcance del proyecto se desarrolló con base en la disponibilidad y accesibilidad de información y bases de datos públicas. Existen otros impactos a considerarse como parte del análisis, lo que supone un potencial para mejorar la precisión de los resultados, y lo que requería tener acceso a información no publicada o a desarrollar investigaciones que puedan responder a los vacíos de información actuales. La falta de acceso a información para el desarrollo del estudio constituyó un limitante, y las conclusiones pudieran cambiar con base en nuevos datos. Los resultados presentados ofrecen un marco de referencia para considerar y analizar los impactos positivos y negativos, y no constituyen una visión definitiva del proyecto hidroeléctrico Las Cruces.

Comparado a otras fuentes para la generación de electricidad renovable, el proyecto hidroeléctrico Las Cruces no presenta la contribución que el gobierno mexicano esperaba para alcanzar sus metas en la reducción de emisiones GEI. Adicionalmente, un análisis contextual de las externalidades que diferentes fuentes de generación de electricidad crean para México, mostró que el proyecto hidroeléctrico Las Cruces es más comparable con una central térmica de gas, que, con otros tipos de energía renovable, es decir que sus costos para la sociedad son mayores.

Se espera que el marco de referencia y la metodología empleados en este análisis contribuyan de manera significativa en la evaluación de mega-obras de infraestructura e inversiones públicas en el mundo.

## 5. Literatura Citada

- Akker, I., M., Corona, S., Lummis, H., Wong, C., Zabel. 2012. Marismas Nacionales Conservation & Carbon Sequestration, preliminary report. Stanford Students Environmental Consulting, Stanford University. 58pp.
- Arthington, A. H., R. L. Welcomme. 1995. in Condition of the World's Aquatic Habitats by N. B., Armantrout, R. J., Wolotira Jr. Science Publishers, Lebanon.
- Avakyan, A. B., V. B., Lakovleva. 1998. Lakes Reserves. Res Manag, 3: 45.
- Brune, G. 1953. Trap efficiency of reservoirs. Eos Transactions American Geophysical Union, 34-407-418.
- CBD. 2015. Wetlands and Ecosystem Services. Wetlands for future, Press Brief. Convention on Biological Diversity International. 10pp.
- Chang, S. P., C. G., Wen. 1998. Water Sci Technol, 37: 325.
- Cotler H., Garrido A., Mondragón R. y Díaz A. 2007. Delimitación de cuencas hidrográficas de México a escala 1:250,000, INEGI/INE/CONAGUA. Documento técnico. México.
- Danemann, G.D., G., Cordero, M., Cortés, C., Torrescano, V., Valdéz. Valor Económico de las Pesquerías generadas por el Ecosistema de Manglar en Marismas Nacionales, México. Programa de Conservación Marina y Pesca Sustentable, Pronatura Noroeste A. C.
- Deemer, B.R., et al. 2016. Greenhouse Gas emission from reservoir water surfaces: A new Global Synthesis. BioScience, 66:11.
- EPA. 2017. The social cost of carbon: estimating the benefits of reducing Green House Emissions.
- Gehrke, P. C., D. M., Gilligan, M., Barwick. 2002. River Res Appl, 18:265.
- Garrido, et al., 2009. Zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México, escala 1:250,000. México: INE, SEMARNAT.
- Gillett, R. M., P. V. Tobias. 2002. Am. J. Hum. Biol. 14, 50.
- Gornitz. 2000. in Sea Level Rise: History and Consequences by Douglas et al. Academic Press, San Diego, CA. 97–119pp.
- Hergoualc'h, K., L.V., Verchot. 2011. Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: a review. Global Biochemical cycles, 25:GB2001.
- Humborg, C., V. Ittekkot, A. Cociasu, B. VonBodungen. 1997. Nature 386:385. 9. C.
- Indrabudi, H., A. De Gier, L. O., Fresco. 1998. Land Degrad Dev, 9: 311.
- International renewable energy Agency - IRENA. 2012. Technologies cost analysis hydropower.
- Jansson, R., C. Nilsson, B. Renofält. 2000. Ecology 81: 899.
- Kolka, R. K., D., Murdiyarto, J.B., Kauffman, R. A., Birdsey. 2016. Tropical wetlands, climate, and land use change: adaptation and mitigation opportunities. Wetlands Ecol Manage, 24:107-112.
- Lemly, A. D., R. T., Kingsford, J. R., Thompson. 2000. Environ Manag, 25: 485.
- McCully, P. 1996. Silenced Rivers. Zed Books, London.

Moore, F. C., D. B., Diaz. 2015. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature climate change*, 5:127-131.

Nilsson, K. Berggren. 2000. *Bioscience*, 50: 783.

Nilsson et al. 2005. Large River Systems Fragmentation and Flow Regulation of the World's. *Science* 308: 405.

Nordhaus, W. D. 2016. Revisiting the social cost of carbon. *PNAS*, 114:7, 1518-1523.

Parsaie et al. 2017. Investigation of trap efficiency of retention dams. *Water Science and Technology: Water Supply*.

Penczak, T., A., Kruk. 2000. *Ecol Freshw Fish*, 9: 109.

Poff et al. 1997. *Bioscience*, 47:769.

Prowse et al. 2002. *Water Int*, 27:58.

Rosa, L. P., M. A., dos Santos, B., Matvienko, E. O., dos Santos, E., Sikar. 2004. *Clim Change*, 66: 9.

Schuyt, K., L., Brander. 2004. *The Economic Values of the World's Wetlands*. World Wildlife Found, The Netherlands. 30pp.

Sovacool, B. K., D., Nugent, A., Gilbert. 2014. Construction Cost Overruns and Electricity Infrastructure: An unavoidable risk?. *The Electricity Journal*, 27:4.

St. Louis, V. L., C. A., Kelly, E., Duchemin, J. W. M., Rudd, D. M., Rosenberg. 2000. *Bioscience* 50, 766.

Tockner, K., J. A., Stanford. 2002. *Environ Conserv*, 29:308.

Voora, V., S. Barg. 2008. *Pimachiowin Aki World Heritage Project Area Ecosystem Services Valuation Assessment*. International Institute for Sustainable Development / IISD. 56pp.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>>

World Commission on Dams. 2000. *Dams and development: A new framework for decision-making*. Earthscan Publishing, London.

## 6. Anexos

### 6.1. Impactos ambientales causados por la construcción y creación del embalse y la operación del sistema de generación hidroeléctrica

Los siguientes cuadros muestran los impactos ambientales ligados al proyecto que la CFE identificó, y los cuales fueron publicados en el documento de la MIA (CFE, 2014). El primero corresponde a los impactos ambientales generados por la construcción y creación del embalse, y el segundo indica aquellos generados por la operación del sistema de generación hidroeléctrica.

Impactos	Categoría del impacto	Mitigable (M)	Compensable (C)	Relación con generadores de cambio preexistentes	Alcance geográfico (UAR)	Certidumbre con respecto a la magnitud del impacto
Pérdida de cobertura vegetal terrestre	1	x	C	✓	1	↑
Afectación de especies NOM de flora y fauna terrestre	2	x	C	✓	1	↔
Fragmentación de hábitats terrestres	1	x	C	✓	1	↔
Alteración de corredores de fauna	1	x	C	✓	1	↔
Modificación de las actividades productivas en el polígono del embalse y sus alrededores	1	x	C	✓	1-4	↓
Alteración del paisaje	1	x	C	x	1	↓
Inundación del poblado de San Blasito	1	x	C	x	1	↑
Inundación de sitios patrimoniales y afectación a ceremonias	1	x	C	x	1	↑
Crecimiento demográfico en los poblados cercanos	1	M	x	x	1,2,3	↑
Cambio de régimen lótico a léntico estratificado	1	x	x	x	1	↑
Sustitución de ecosistemas acuáticos	2	x	C	x	1	↔
Afectación de especies NOM de flora y fauna acuática	2	x	C	x	1-4	↔
Aumento en la evaporación de agua en el polígono del embalse	2	x	x	x	1,2	↑
Interrupción de la migración de especies acuáticas	2	M	x	x	1-4	↑
Retención de materia orgánica, nutrientes y sedimentos	1	x	C	x	1-4	↑
Generación de GEI por descomposición anaerobia	1	x	x	x	1	↑
Alteración de los procesos geomorfológicos aguas abajo de la cortina	1	x	x	✓	3-4	↓
Afectación a las actividades extractivas de materiales	1	x	x	✓	1-3	↓
Formación de deltas y depósitos de materia orgánica e inorgánica	1	x	x	x	1	↓
Sismicidad local inducida	1	x	x	x	1,3	↔

<b>Impactos por la operación del sistema de generación hidroeléctrica</b>	<b>Categoría del impacto</b>	<b>Mitigable (M)</b>	<b>Compensable (C)</b>	<b>Relación con generadores de cambio preexistentes</b>	<b>Alcance geográfico (UJAR)</b>	<b>Certidumbre con respecto a la magnitud del impacto</b>
Variación del régimen de caudal diario	1	M	x	x	2-4	↑
Variación del régimen estacional	1	M	x	✓	2-4	↑
Disminución en la magnitud de los pulsos de inundación en la planicie costera durante la temporada de lluvias	2	M	x	x	2-4	↔
Cambios de uso de suelo de las zonas de la planicie inundable	2	x	x	✓	3-4	↑
Modificación de las actividades productivas en las zonas inundables de la planicie costera	2	x	x	x	3-4	↑
Aumento de la disponibilidad de agua durante la temporada de estiaje	2	x	x	✓	2-4	↔
Variación del régimen interanual	1	M	x	x	2-4	↑
Modificación del transporte de nutrientes y sedimentos en el río San Pedro.	1	x	C	x	2-4	↓
Incisión y rectificación sostenida del cauce debido al aumento de la velocidad del flujo y de los procesos erosivos	2	x	x	✓	2-4	↓
Modificación de pozas y fondos de grava y rodados	2	x	x	✓	2-3	↓
Modificación de procesos morfogénicos en planicies de inundación y humedales.	1	x	x	✓	3-4	↓
Modificación del transporte de nutrientes y sedimentos al sistema lagunar.	2	x	C	✓	2-4	↓

## 6.2. Resultados con la tasa de descuento incluida

A continuación de muestra el análisis del costo social del proyecto hidroeléctrico Las Cruces con una tasa de descuento del 3.9%.

		Estimados promedio	Estimados mínimos	Estimados máximos	Estimados mínimos (cambio relativo del valor promedio)	Estimados máximos (cambio relativo del valor promedio)
		Millones de MXN	Millones de MXN	Millones de MXN	%	%
Impactos sociales	Empleos	591.3	1,339.0	253.5	226%	43%
	Sitios sagrados	(55.8)	(34.9)	(174.3)	63%	313%
	Población desplazada	(33.2)	(33.1)	(33.7)	100%	102%
Impacto del proyecto	Territorio cubierto por el proyecto	(1,508.6)	(760.0)	(1,900.0)	50%	126%
	Emisiones GEI por el embalse	(955.1)	(198.6)	(3,574.0)	21%	374%
	Huella de carbono de la construcción del proyecto	(145.7)	(56.0)	(373.5)	38%	256%
Régimen de inundaciones	Calidad de agua	(14.3)	(11.3)	(17.2)	79%	121%
	Biodiversidad/hábitat	(14.1)	(6.3)	(21.8)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(3,341.3)	(1,285.1)	(8,567.6)	38%	256%
	Pesquerías	(22.7)	-	(15,729.4)	-	69444%
	Agricultura	(109.3)	(36.4)	(182.2)	33%	167%
Régimen de sedimentos	Calidad de agua	(0.5)	(0.4)	(0.6)	81%	119%
	Biodiversidad/hábitat	(0.4)	(0.2)	(0.7)	45%	155%
	Almacenamiento y secuestro de CO2	(142.1)	(54.7)	(364.4)	38%	256%
	Pesquerías	(0.7)	-	(490.4)	-	69444%
	Agricultura	(33.1)	(33.1)	(33.1)	100%	100%
	Protección a eventos extremos	(50.2)	(50.2)	(50.2)	100%	100%
R. financieros	Resultados netos	(6,290.2)	(3,704.0)	(13,182.5)	59%	210%

**Valor neto en millones de MXN (12,125.9)**

